

« ON THE ROAD » !

UN PEU DE ROADÉF
POUR LA ROUTE

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE RECHERCHE OPÉRATIONNELLE
ET D'AIDE À LA DÉCISION

DOSSIER

HOMMAGE
À MICHEL MINOUX

(pages 2 à 6)



REPORTAGE

La Recherche Opérationnelle
à GRTgaz
(p. 7)

ROADÉF

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE RECHERCHE OPÉRATIONNELLE
ET D'AIDE À LA DÉCISION



DÉCEMBRE
2023



ROADEF



Écrire à l'ensemble du bureau :
bureau@roadef.org

ou individuellement à

Sandra Ulrich Ngueveu, president@roadef.org

Nabil Absi, secretaire@roadef.org

Amélie Lambert, tresorier@roadef.org

Brice Mayag, vpresident1@roadef.org (bulletin)

Ronan Bocquillon, vpresident2@roadef.org (site web)

Olivier Péton, vpresident3@roadef.org (relations extérieures)

Alain Nguyen et Lucile Brethomé, promotion_road@roadef.org
(promotion de la RO/AD)

Éditeur : **Sandra Ulrich Ngueveu**, INPT-ENSEEIH / LAAS-CNRS, Toulouse - France / Siège social : Institut Henri Poincaré, 11, rue Pierre et Marie Curie, 75231 Paris Cedex 05 / Publication : **Brice Mayag**, Université Paris Dauphine / Langues officielles : français et anglais

Site web : roadef.org

ON THE ROAD

éditorial

par **Sandra Ulrich Ngueveu**



Chères amies, chers amis de la ROADEF,

L'année 2023 qui s'achève aura vu notre communauté continuer de s'agrandir, avec un nombre d'adhérents toujours croissant et un nouveau record de participation à notre conférence annuelle ! Nous remercions nos collègues de Rennes pour leur accueil, et vous trouverez dans ce numéro un bilan de cette belle édition du congrès présenté par Nadjib Brahimi.

L'édition 2022-2023 du challenge ROADEF/EURO fut également un succès, avec 19 équipes participantes provenant de 12 pays et 4 continents. Le sujet de cette édition portait sur un problème d'optimisation du chargement des camions en 3D en collaboration avec le Groupe Renault, que nous remercions chaleureusement ! Vous pouvez consulter sur le site du challenge la liste des lauréats des prix déjà attribués. Les gagnants du prix scientifique seront annoncés à Amiens lors de notre conférence annuelle. Nous encourageons et invitons dès à présent nos collègues industriels à proposer des sujets pour les éditions à venir du challenge, et nous remercions nos collègues de l'équipe d'organisation pour leur investissement !

Le bureau poursuit sa mission de promotion de notre discipline en soutenant les événements scientifiques portés par les membres de l'association, et met en œuvre les actions requises par la communauté. Cette année 2023 a vu l'aboutissement de plusieurs chantiers, certains déjà engagés et d'autres plus inattendus. En tant qu'adhérent, vous recevrez un rapport d'activité qui vous sera présenté lors de notre

assemblée générale à Amiens. Cette assemblée est aussi un moment essentiel de partage et d'échange avec vous, venez nombreux !

Le traditionnel renouvellement du bureau ROADEF aura lieu lors de l'assemblée générale. Certains de nos collègues - L. Brethomé (communication), R. Bocquillon (site web), B. Mayag (bulletin), A. Nguyen (promotion) - et moi-même (présidente) tirons notre révérence après 4 ans de service, tandis que N. Absi (secrétaire), A. Lambert (trésorière) et O. Péton (relations extérieures) poursuivront leur engagement au sein du prochain bureau qui sera présidé par N. Absi. Je tiens à remercier ici chacun d'entre eux.

Ce fut un honneur de faire partie du bureau de la ROADEF. De plus, il a été particulièrement agréable d'œuvrer ensemble dans un esprit de concertation et dans une ambiance constructive et chaleureuse. Toute l'équipe se joint à moi pour souhaiter une belle réussite au prochain bureau, et nous travaillons tous de concert pour assurer un passage de témoin efficace et serein.

En cette fin d'année 2023, nous avons eu la tristesse d'apprendre le décès de Michel Minoux, figure éminente de notre communauté, non seulement pour ses contributions scientifiques majeures, mais également pour avoir formé et marqué des générations de chercheurs opérationnels tant dans le milieu académique que dans l'industrie. La première partie de ce numéro lui est entièrement dédiée.

Dans le reste du bulletin vous trouverez vos rubriques désormais habituelles.

Dans la série repORtage, Lucile Brethomé met en lumière le dynamisme de la RO au sein de GRTgaz, et présente deux outils innovants qui accompagnent l'entreprise sur leur réduction de coûts d'exploitation et sur leur transition écologique.

La rubrique rADicalement ROAD se penche sur nos pratiques et sur les impacts environnementaux de nos activités. Jean-Marc Nicod et Denis Trystram nous proposent un retour sur leur intervention lors des GreenDays organisés cette année.

La problématique émergente de l'explicabilité en recherche opérationnelle est introduite dans la rubrique hORs les murs. Prunelle Vogler et Adèle Pass-Lanneau présentent les grands enjeux de l'explicabilité pour notre communauté, et illustrent son intérêt et sa mise en œuvre sur un problème métier à la Direction Générale de l'Armement.

Enfin, toutes les actualités de la ROADEF (prix du Master, Livre Blanc, événements parrainés, etc.), du GDR ROD, des JFRO, des congrès ROADEF, ainsi qu'une nouvelle énigme soumise par Denis Cornaz, sont à retrouver dans les autres pages de votre bulletin. N'hésitez pas à le partager autour de vous !

Le bureau de la ROADEF tient à remercier tous les contributeurs, reste toujours à l'écoute de vos propositions et vous souhaite une bonne année 2024 !

Bonne lecture et au plaisir de vous retrouver à Amiens,

Sommaire

2 HOMMAGE
Michel Minoux p.2

7 repORtage
La Recherche Opérationnelle
à GRTgaz p.7

10 rADicalement ROAD
Paver la route pour une RO
(plus) verte - p.10

13 hORs-les-murs
Explicabilité p.13

16 Vie du GDR ROD
Christian Artigues, Nadia Brauner et Pierre
Fouilhoux p.16

**18 Bilan Congrès
de la ROADEF** p.18

**20 Compte-rendu
des JFRO** p.20

21 ActuROAD
Election bureau ROADEF 2024-2026 .. p.21
Événements soutenus ou sponsorisés
par la ROADEF p.21

Prix du Master 2022 p.22

23 citRONnAde p.23

HOMMAGE À MICHEL MINOUX



..... Par Céline Gicquel, Viet Hung Nguyen et Hacène Ouzia

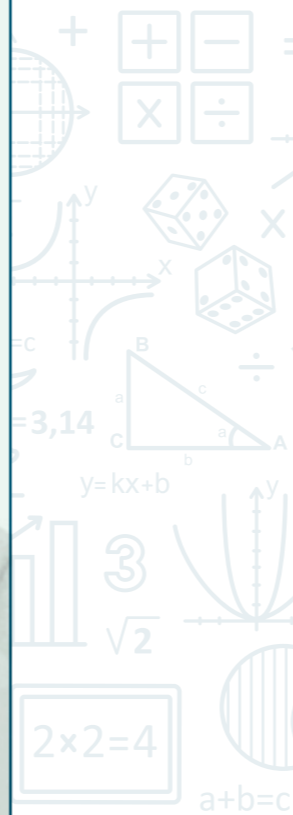
Michel Minoux, Professeur émérite à Sorbonne Université (ex-Université Pierre et Marie Curie), nous a quittés en septembre dernier. Michel était un expert de renommée internationale dans le domaine de la théorie des graphes et de la programmation mathématique. Il fut l'un des grands promoteurs de ces deux disciplines en France. Notre communauté de chercheurs opérationnels lui doit donc beaucoup.

Ce dossier réunit des textes rédigés par plusieurs collègues et amis de Michel afin de lui rendre hommage. Ils reviennent sur quelques-unes des multiples contributions de ce chercheur passionné et témoignent d'un parcours exceptionnel. Ainsi, Michel Gondran nous raconte la genèse des deux ouvrages de référence *Graphes et algorithmes* et *Graphes, dioïdes et semi-anneaux* qu'il a co-écrits avec Michel. Riadh Zorgati nous décrit les avancées décisives obtenues, grâce aux contributions de Michel, sur les problèmes d'optimisation en lien avec les activités industrielles d'EDF. Enfin, Nelson Maculan nous rappelle que l'héritage de Michel dépasse largement les frontières françaises.

BIOGRAPHIE

Michel Minoux était un ancien élève de l'Ecole Polytechnique (promotion 1965) et de Telecom Paris. Après ses études, il a rejoint le CNET (Centre National d'Etude des Télécommunications) en 1970. Il y a occupé divers postes dont celui de directeur scientifique du département 'Etudes en communication et réseaux', puis celui de directeur du département de mathématiques appliquées entre 1981 et 1985. Il a ensuite été directeur de recherche à l'Université Paris IX-Dauphine. Depuis 1988, il était Professeur puis Professeur émérite à l'Université Pierre et Marie Curie (actuellement Sorbonne Université), au sein du Laboratoire d'Informatique de Paris 6 (LIP6). Il était responsable dans l'équipe DECISION de l'axe de recherche "Optimisation des grands systèmes". En sa qualité d'enseignant, il a assuré, entre autres, la responsabilité du DEA IRO (Informatique et Recherche Opérationnelle) pendant plusieurs années. Michel a également enseigné, au cours de sa carrière, dans plusieurs écoles d'ingénieurs (Telecom Paris, ENSTA et Centrale Paris) contribuant ainsi à la formation de plusieurs générations de chercheurs et d'ingénieurs en recherche opérationnelle.

Michel Minoux était un chercheur de renommée internationale. Il a publié plus d'une centaine d'articles de recherche ainsi que plusieurs ouvrages de références dans notre discipline. Parmi ces ouvrages, les plus connus sont *Programmation Mathématique : théorie et algorithmes* ainsi que *Graphes et algorithmes* et *Graphes, dioïdes et semi-anneaux* coécrits avec Michel Gondran. Parallèlement à ses travaux théoriques, Michel accordait une grande importance aux applications industrielles de la recherche opérationnelle (télécom, énergie, logistique, ...).

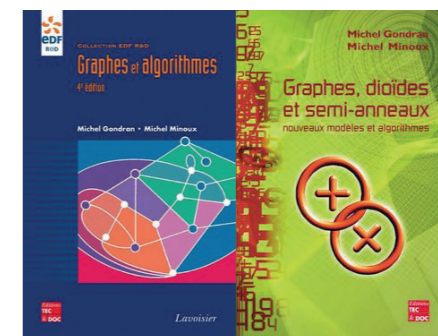


Au commencement était le dioïde N

..... par Michel Gondran

J'ai rencontré Michel pour la première fois à l'École Polytechnique en 1965. C'était encore rue Descartes sur la montagne Sainte-Geneviève où nous logions dans le même casert, correspondant à une chambre de 7 personnes. Quelques années plus tard, en 1975, je découvre qu'il avait généralisé les algèbres de chemins (appelées dioïdes) formalisées dans ma thèse deux ans plus tôt. Il avait obtenu ces résultats en partant de problèmes concrets de chemins qui ne rentraient pas dans mon formalisme. Il s'agissait des dioïdes des endomorphismes d'un monoïde. C'est à partir de ce moment que nous avons commencé une collaboration qui a duré plus de 40 ans. Notre approche renouvelait les problèmes de cheminement dans les graphes. Comme chacun de nous deux travaillait sur les graphes, Michel pour les problèmes de télécommunications du CNET et moi-même sur les problèmes combinatoires d'EDF, nous avons décidé d'écrire « Graphes et Algorithmes » qui est paru en 1979. Ce livre a été réédité ensuite en 1985, 1995 et 2009 [1]. Il est aussi paru dans des versions anglaises en 1984, 1986, 1988 et 1990 [2]. Nous avons eu beaucoup de plaisir à l'écrire ensemble. Cela a été possible, car nous couvrons une grande partie du domaine grâce à nos recherches antérieures et aux cours que nous donnions dans diverses grandes écoles d'ingénieurs. De plus, à part le livre de Claude Berge sur la théorie des graphes [3] et celui de Bernard Roy plus proche des applications [4,5], la littérature, même anglaise, ne présentait pas de livres généraux sur les algorithmes et les applications. Mais ce qui est le plus important, c'est que nous avons la même conception des mathématiques appliquées. Pour nous, les graphes sont un langage de représentation (formelle) permettant de modéliser des problèmes, concrets ou théoriques, puis de définir des algorithmes pour les résoudre. De plus, il nous paraissait évident que les nouveaux concepts soient toujours introduits par un ou plusieurs exemples concrets permettant de les motiver. Après la parution du livre, nous nous sommes mis au travail pour développer, à côté de nos travaux pour le CNET et EDF, une théorie des dioïdes. On rappelle qu'un dioïde est un ensemble E muni de deux lois généralisant l'addition et la multiplication ordinaire telles que l'addition généralisée n'est pas inversible, mais dont les éléments sont analogues à des nombres positifs. Les principaux dioïdes sont l'algèbre $(\mathbb{R}, \min, +)$ utilisée pour la recherche du plus court chemin, l'algèbre (\mathbb{R}, \max, \min) utilisée pour la recherche du chemin de capacité maximale, l'algèbre de Boole qui est la structure algébrique sous-jacente à la logique, et l'algèbre $(\mathbb{R}^+, +, \times)$ qui est sous-jacente à la théorie de la mesure et des probabilités. Pour les dioïdes des endomorphismes H de E dans E, E correspond aux états du système et H aux transitions entre deux états. L'exemple le plus simple correspond au problème du plus court chemin avec longueurs des arcs dépendant du temps : à chaque arc (i, j) est associé une fonction h_{ij} donnant le temps t_j d'arrivée en j à partir du temps de départ en i : $t_j = h_{ij}(t_i)$.

Nous avons alors montré que, à côté des corps et des anneaux, il existait des structures algébriques qui, bien que plus pauvres en propriétés, permettaient de retrouver les nombreux résultats de l'algèbre classique en les généralisant : la dépendance linéaire et les déterminants grâce à un bidéterminant, les valeurs et les vecteurs propres avec un bipolynôme caractéristique, le théorème de Perron-Frobenius. Nous avons également montré que ces valeurs et vecteurs propres trouvaient des applications intéressantes en classification hiérarchique, en analyse des préférences et en automatique des systèmes à événements discrets. Ces algèbres sont maintenant souvent appelées algèbres tropicales. C'est à cette époque que Michel a passé un contrat de recherche entre le CNET et l'INRIA (Jean-Pierre Quadrat et Guy Cohen). Ce seront les prémices du groupe Maxplus de l'INRIA que développeront en particulier Stéphane Gaubert et Marianne Akian. Puis, à la suite de Maslov [6], nous avons montré que pour chaque dioïde, nous pouvions construire une analyse non-linéaire relativement au corps des réels $(\mathbb{R}^+, +, \times)$, mais « linéaire » relativement à des dioïdes comme les dioïdes $(\mathbb{R}, \min, +)$ et (\mathbb{R}, \max, \min) . On montre en particulier que l'équation d'Hamilton-Jacobi qui est non-linéaire pour $(\mathbb{R}^+, +, \times)$ est linéaire dans ces deux dioïdes. La transformée de Fourier dans $(\mathbb{R}^+, +, \times)$ devient la transformée de Legendre-Fenchel dans le dioïde $(\mathbb{R}, \min, +)$. Ces nouveaux outils, qui introduisent une théorie non-linéaire des distributions, permettent de revisiter une partie de la physique classique non-linéaire et de la mécanique quantique. Ces travaux nous ont conduits à écrire un nouveau livre : « Graphes, Dioïdes et Semi-Anneaux : nouveaux modèles et algorithmes » en 2001 avec une version anglaise en 2008 [7,8]. Nous avons eu beaucoup de plaisir à écrire ce livre original qui contient plusieurs dizaines de modèles et presque une centaine d'exemples. Nous aimions penser que le plus connu et le plus élémentaire des objets mathématiques était le dioïde des entiers naturels. Et c'était sans malice que nous pouvions écrire : **Au commencement était le dioïde N.** En général discret, Michel pouvait s'enthousiasmer pour un sujet. Curieux et inventif, il aimait allier théorie et applications, modélisation et algorithmes. Il allait au fond des choses et aimait le travail bien fait. C'était un ami fidèle avec qui il était si agréable de discuter.



Michel pouvait s'enthousiasmer pour un sujet. Curieux et inventif, il aimait allier théorie et applications, modélisation et algorithmes.

Références

- [1] Michel Gondran et Michel Minoux. *Graphes et Algorithmes*. Eyrolles, Paris, 1979, 1984, 1995, puis Lavoisier, Paris, 2009.
- [2] Michel Gondran et Michel Minoux. *Graphs and Algorithms*. Wiley, New York, 1984, 1986, 1988, 1990.
- [3] Claude Berge. *Graphes et Hypergraphes*. Dunod, Paris, 1970.
- [4] Bernard Roy. *Algèbre moderne et théorie des graphes orientées vers les sciences économiques et sociales. Tome 1 : Notions et résultats fondamentaux*. Dunod, Paris, 1969.
- [5] Bernard Roy. *Algèbre moderne et théorie des graphes orientées vers les sciences économiques et sociales. Tome 2 : Applications et problèmes spécifiques*. Dunod, Paris, 1970.
- [6] V. P. Maslov and S.N. Samborskii. *Idempotent Analysis*, American Mathematical Society, 1992.
- [7] Michel Gondran et Michel Minoux. *Graphes, Dioïdes et Semi-Anneaux : nouveaux modèles et algorithmes*, Lavoisier, Paris, 2002.
- [8] Michel Gondran et Michel Minoux. *Graphs, Dioïdes and Semirings: New Models and Algorithms*, Springer, New York, 2008.

CONTRIBUTIONS DE MICHEL MINOUX à la résolution des problèmes d'optimisation rencontrés par EDF

..... Par Riadh Zorgati, Ingénieur-chercheur, Département Optimisation, Simulation, Risques et Statistiques, EDF Lab Paris-Saclay

Michel Minoux, avec qui j'ai eu l'honneur et le plaisir de travailler durant plus de vingt ans, était à la fois un homme affable et intègre, un efficace conseiller scientifique proche des préoccupations des industriels, un excellent pédagogue et un chercheur rigoureux et passionné. Je veux lui rendre hommage ici et le remercier, au nom de tous mes collègues d'EDF, pour toutes ses contributions décisives à l'amélioration de la gestion de la production électrique et de la gestion du réseau de distribution, à la formation de nos ingénieurs, et personnellement, pour son engagement dans nos travaux communs de recherche sur la maximisation d'une probabilité.

Premier contact

En 2000, comme beaucoup de candidats postulant au département « Méthodes d'optimisation et de Simulation » (MOS), de la Direction des Études et Recherches d'EDF à Clamart, j'étudiais avec beaucoup d'intérêt le livre « Programmation Mathématique » publié aux éditions Dunod par un certain Michel Minoux. Ce fut le premier contact, indirect, que j'eus avec Michel. Ainsi, avant même que je ne le connaisse personnellement, il m'était d'un grand soutien tant son livre aidait à défricher avec clarté le domaine. Après avoir rejoint le département, j'eus encore des échos des travaux de Michel Minoux par l'intermédiaire de son livre « Graphes et Algorithmes », co-écrit avec mon collègue Michel Gondran, conseiller scientifique toujours à l'affût de bonnes discussions scientifiques. Michel Minoux passait régulièrement au département et son contact était facile et agréable. J'étais impressionné de rencontrer en chair et en os l'auteur de mes deux livres de chevet, livres devenus quasiment légendaires dans notre milieu d'ingénieurs-chercheurs à l'EDF impliqués alors dans l'optimisation de la gestion de la production électrique. Michel Minoux était toujours serviable et disposé à éclaircir certains points que je trouvais difficiles dans son livre « Programmation Mathématique », comme par exemple, la résolution

en nombres entiers d'un système d'équations linéaires par la décomposition de Smith d'une matrice (une annexe du tome 2 de la première édition du livre). Il m'aidait, sans me connaître, et mon intérêt pour ce sujet éveilla sa curiosité. Je cherchais en effet des solutions respectant des paliers discrets d'un problème de production hydraulique d'une vallée. Le projet n'eut pas de suite sous cette forme mais le contact était établi et nous avions envie de travailler ensemble sur quelques sujets d'intérêt commun.

Contributions à certaines problématiques d'EDF

Amélioration de la gestion de la production hydraulique

L'occasion nous fut donnée alors que mon collègue Gérald Vignal et moi butions sur la formulation efficace d'une contrainte quadratique concernant la production hydraulique dans une vallée. Même sur une petite vallée comme celle de la Romanche, les temps de calculs avec le solveur commercial CPLEX étaient désespérément longs et ruinaient a priori nos espoirs d'améliorer la gestion hydraulique. Nous avons alors eu la bonne idée de faire appel à Michel Minoux. Après des mois d'efforts, Michel réussit à trouver une reformulation équivalente de notre contrainte qui permettait, sur la Romanche, une exécution en une fraction de seconde. Cette expérience fut vécue par Gérald et moi comme un miracle qui ouvrit de superbes perspectives dans l'amélioration notable de la gestion de la production hydraulique.

Amélioration de la gestion du réseau électrique de distribution

Michel Minoux a apporté aussi des contributions décisives dans le domaine de la gestion des réseaux de distribution de l'électricité.

Il a mis au point une technique innovante de résolution des équations de Kirchhoff opérant en deux phases. La première phase, originale et d'une grande efficacité, permet de disposer d'une solution du système d'équations qui est de très bonne qualité. L'approche proposée repose sur l'optimisation mathématique et est basée sur une reformulation quadratique des équations du système. Cette reformulation permet, lors de la seconde phase, d'initialiser un algorithme de type Newton. La qualité de la solution initiale étant très bonne, le nombre d'itérations nécessaire

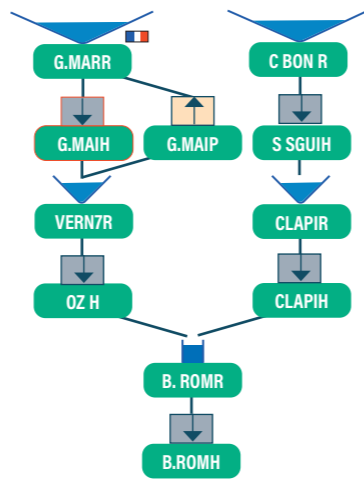


Figure 1 - Schéma simplifié de la vallée de la Romanche sur laquelle l'expérimentation a été menée.

La première formulation présentait des écarts d'intégralité de valeur potentiellement significative (20 % ou plus) et conduisait à des temps de calcul excessifs. Une caractérisation polyédrique de l'ensemble des séquences de contrôle autorisées a permis d'obtenir une nouvelle formulation pour laquelle la matrice de contraintes est totalement unimodulaire, donc ne présentant aucun écart d'intégralité. La réduction significative des efforts de calcul en résultant a permis une implémentation de la solution proposée par Michel Minoux dans Apogée, l'outil opérationnel de gestion journalière de la production électrique d'EDF.

est réduit. Sur des réseaux réels comportant des dizaines de milliers de nœuds, la technique de Michel s'avère d'un grand intérêt.

Il a proposé différentes linéarisations des équations de Kirchhoff. Avec Bhargav Swaminathan d'EDF, il a, en particulier, étudié la linéarisation du problème dit d'Optimal Power Flow avec la prise en compte de la puissance réactive (grandeur qui contribue au fait que le modèle de base d'Optimal Power Flow est non-linéaire). La méthodologie proposée par Michel consistait en la reformulation linéaire de ces équations tout en gardant une précision suffisamment importante pour l'exploitabilité des résultats. Cette linéarisation a permis des avancées sur la modélisation du problème de gestion des flux et des contraintes dans les réseaux électriques sous forme d'optimisation.

Michel, mes collègues Andréa Laugère, Dominique Croteau et moi-même, avons collaboré pour la mise au point d'une technique de régulation de la tension électrique dans les réseaux de distribution. Cette régulation est d'une importance cruciale pour l'insertion des énergies renouvelables et du développement des véhicules électriques. Grâce à l'approche originale fondée sur l'optimisation proposée par Michel, EDF a conçu des solutions innovantes de maintien de la tension dans les plages réglementaires ayant conduit au dépôt de plusieurs brevets en France et en Europe.

Un Professeur pédagogue

En 2006, la Société de Calcul Mathématique et la R&D d'EDF organisèrent le séminaire « Mathématiques du Réel » où Michel fut invité à présenter l'intérêt de la programmation mathématique pour l'industrie et le rôle crucial joué par les variables entières pour modéliser des situations concrètes. Ce fut l'occasion pour tous d'admirer ses grandes compétences pédagogiques en expliquant avec clarté à un large public les difficiles questions de l'optimisation combinatoire.

Un guide méthodologique

Michel a aussi rédigé un guide méthodologique destiné à aider nos ingénieurs à modéliser et résoudre des problèmes d'optimisation continue et discrète. Dans ce guide, Michel avait énoncé un certain nombre de principes et de règles de bonnes pratiques pour modéliser, en vue d'une résolution efficace, les problèmes d'optimisation tels qu'ils peuvent se rencontrer dans l'industrie, et tout particulièrement ceux relatifs à l'énergie.

Ce document illustre, au moyen d'un large éventail d'exemples caractéristiques, l'interaction complexe entre le choix d'une formulation et celui d'une méthode de résolution. Il était envisagé de l'intégrer ultérieurement à un document plus complet incluant les contributions d'ingénieurs-chercheurs du département OSIRIS d'EDF (Nadia Oudjane, Jean-Yves Lucas et moi-même).

Sessions de formation des ingénieurs-chercheurs d'EDF

Michel a animé, sous la responsabilité de Clémence Alasseur, alors responsable du Laboratoire Finance pour les Marchés de l'Énergie (FLME) et chef du groupe Mathématiques Financières au département OSIRIS (l'héritier du département MOS), plusieurs sessions de formation sur l'optimisation bi-niveau et son application à la tarification. Michel, toujours avec sa pédagogie et la clarté de son

propos, nous aida à bien identifier les difficultés mathématiques, ce qui nous a permis d'aboutir à la mise au point de techniques de tarification efficaces.

Le chercheur passionné

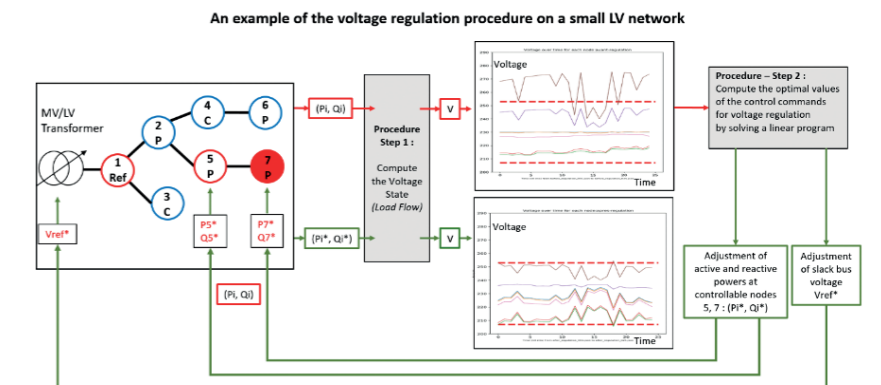
Enfin, je voudrais parler du chercheur passionné, créatif et obstiné qu'était Michel Minoux. J'ai eu l'honneur de travailler avec Michel sur la résolution du problème de la maximisation d'une probabilité. Le problème consiste à satisfaire, avec la plus grande probabilité, un ensemble d'inégalités linéaires aléatoires, tout en respectant un autre ensemble d'inégalités linéaires ou coniques de second ordre. Michel pensait, en 2011, que le problème dans le cas gaussien avait dû être traité. Rien dans la littérature n'émergeait et aussitôt Michel fut conquis par l'aventure. Poser le problème, exprimer les conditions de concavité, même dans le cas gaussien, fut pénible. L'acharnement de Michel à résoudre le problème paya. Nous aboutîmes aux conditions de concavité et publiâmes, entre 2015 et 2017, trois articles sur le sujet. Les applications que nous avons étudiées sont variées. Citons la discrimination linéaire de mélanges gaussiens ; l'optimisation d'un portefeuille pour lequel l'efficacité de notre approche dépasse celle de Markowitz, au prix d'un risque plus élevé (merci au Professeur René Aïd, de l'Université Paris-Dauphine de nous avoir éclairé sur ce sujet) ; ou encore l'effet sur l'équilibre entre la production et la demande d'électricité d'une insertion toujours plus grande des énergies renouvelables dans un mix énergétique. La technique permet aussi de traiter les problèmes inverses linéaires (comme les équations de Fredholm de première espèce) ou les systèmes linéaires mal conditionnés. A chaque avancée, à chaque nouvelle perspective d'application, l'enthousiasme et la curiosité insatiable de Michel s'éveillaient et nous portaient pour défricher des terrains inconnus.

« Que vivent nos projets ! »

Au XVIII^{ème} siècle, il suffisait de monter à bord d'un vaisseau en partance vers les mers du Sud pour vivre l'aventure, découvrir de nouveaux horizons, des plantes exotiques, des peuples inconnus. A défaut d'expédition de La Pérouse au XXI^{ème} siècle, travailler aux côtés de Michel Minoux fut pour moi une belle aventure, exaltante et enrichissante. Il laisse plusieurs aventures en chantier : les matrices aléatoires, les valeurs extrêmes, Quelques jours seulement avant de partir, l'esprit lucide, encore alerte, il me glissa en guise de testament : « Que vivent nos projets ! ». Adieu grand Professeur ! Adieu cher chercheur ! Adieu, mon ami.

Michel était, de l'avis de tous, un excellent pédagogue qui savait expliquer les problèmes difficiles à divers publics.

Figure 2 - Un exemple de la procédure de régulation de la tension dans un petit réseau de distribution basse tension. L'état en tension du réseau (les valeurs de tension en chaque nœud), déterminé par un algorithme dit de « Load Flow », montre que les variations de tension au nœud 7 dépassent les valeurs réglementaires car une ferme photovoltaïque y injecte une production significative et fait monter la tension. Le procédé mis au point avec Michel Minoux permet de ramener la tension dans ses plages réglementaires. Il s'appuie sur la résolution efficace d'un problème d'optimisation non linéaire pour déterminer les valeurs optimales des commandes de régulation par linéarisations successives des équations de Kirchhoff et réduction à un ensemble de programmes linéaires. De plus, dans un objectif de déploiement industriel, Michel a défini une fonction-objectif qui assure une certaine robustesse des solutions vis-à-vis des incertitudes sur les données du réseau.



Mon collègue et ami Michel Minoux

Nelson Maculan,
Professeur Émérite
Université Fédérale de Rio de Janeiro



Ma rencontre avec Michel Minoux m'a été suggérée par Michel Gondran (EDF-France) à l'occasion de la conférence ISMP (International Symposium on Mathematical Programming), qui s'est tenue à Budapest en juillet 1976. Lors de cette conférence et suite à ma présentation sur des problèmes d'optimisation liés à l'expansion d'un réseau téléphonique, Michel Gondran m'avait dit « Il faut en parler à Michel Minoux qui travaille au CNET (Centre National d'Études des Télécommunications) ». Une semaine plus tard, Michel Minoux m'a reçu chaleureusement dans son bureau au CNET. Cela a été le début d'une longue coopération France-Brésil et d'une grande amitié.

En 1977, j'ai invité Michel Minoux au Brésil. Il y a donné un cours de deux mois sur l'Optimisation Combinatoire, dans le cadre du Programme de Génie des Systèmes et Informatique (PESC) du centre d'études supérieurs et de recherche en ingénierie (COPPE) de l'Université Fédérale de Rio de Janeiro (UFRJ). La trentaine d'étudiants qui ont suivi ce cours ont énormément apprécié la pédagogie de Michel ainsi que son érudition, en particulier sur les aspects algorithmiques des problèmes d'optimisation dans les graphes.

En 1979, je me suis rendu à Paris et nous avons continué à travailler sur des sujets associés aux problèmes dans les réseaux de télécommunication. A cette occasion, il m'a offert un exemplaire du livre « Graphes et algorithmes » qui venait de paraître (plus de 500 pages, un vrai pavé) et qu'il avait co-écrit avec Michel Gondran. Quel excellent bouquin ! Je m'en sers toujours. En annexe la copie de sa dédicace.

L'International Congress on Mathematical Programming qui s'est tenu à Rio de Janeiro du 6 au 8 avril 1981 a pu compter, pour la première fois en Amérique Latine, sur une vingtaine de chercheurs de renommée internationale dont Michel Minoux. Pendant ce congrès, j'ai présenté Celso Ribeiro à Michel. A l'époque, Celso était un jeune étudiant qui souhaitait préparer une thèse de doctorat. Michel avait accepté de diriger sa thèse et quelques mois plus tard, Celso Ribeiro a commencé sa thèse au CNET à Paris. La coopération scientifique entre la France et le Brésil sur le thème de l'optimisation doit beaucoup au travail du tandem Minoux-Ribeiro : ils ont réussi à ce que les agences de financement des projets de recherche de ces deux pays acceptent de soutenir pendant quelques années un échange d'excellence. Je me souviens ainsi parfaitement du premier séjour de Gérard Plateau à Rio de Janeiro.

De janvier 1982 à janvier 1984, j'ai occupé une position de professeur invité au DIRO-CRT à l'Université de Montréal au Québec, Canada. Peu après mon arrivée, Michel est également venu à l'Université de Montréal. Lors de ce séjour, nous avons participé à la mise en place d'une coopération France-Québec sur le thème de la Recherche Opérationnelle. Cela m'a donné l'occasion de passer le mois de juillet 1982 au CNET dans le bureau de Michel. J'ai pu y travailler avec lui, et ses étudiants : Celso Ribeiro, Brigitte Jaumard et Armin Claus. Michel était très attentif aux conditions de travail et de vie de ses thésards.

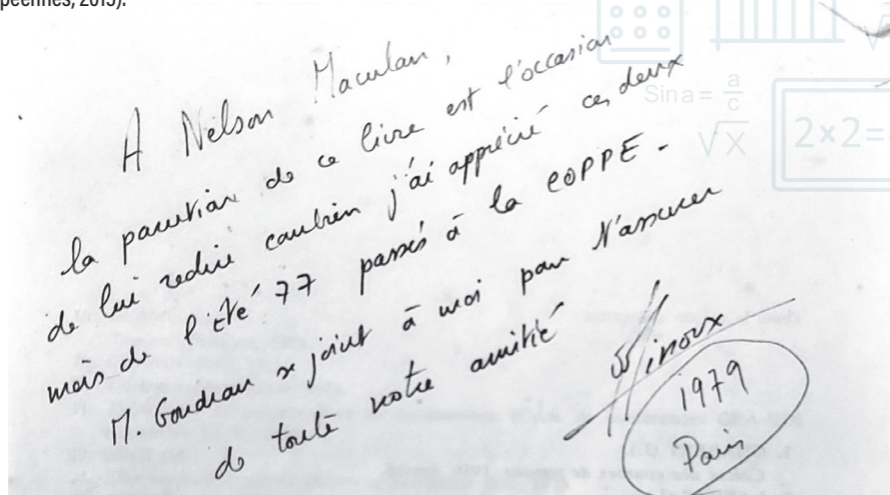
Avec nos collègues Ruy Campello, Gerd Finke, Peter Hammer, Gilbert Laporte, Silvano Martello et Celso Ribeiro nous avons été des pionniers en organisant la première 'School on Combinatorial Optimization' à Rio de Janeiro (8 au 19 juillet 1985). Michel y a donné un mini-cours sur la conception de réseau et l'optimisation d'un réseau dynamique.

Plus récemment, nous avons dirigé ensemble la thèse de doctorat d'Ibrahim Mamane Souleye, soutenue à l'Université Paris 6 en 2007. À partir de cette thèse, nous avons écrit tous les trois un livre : *Le problème du plus court chemin avec des longueurs négatives - Formulations et inégalités valides* (Éditions Universitaires Européennes, 2015).

Au cours de ma carrière, j'ai rencontré de nombreux collègues travaillant dans les domaines de la recherche opérationnelle, de l'optimisation continue et combinatoire, du contrôle optimal, des réseaux, des mathématiques appliquées. Le seul qui avait de vastes connaissances sur tous ces sujets était Michel Minoux et il était toujours prêt à nous aider.

Depuis 1985, Michel et moi, nous nous rencontrons tous les deux ans, soit en France, soit au Brésil. Il y a 3 ans, nous avons déjeuné ensemble à Jussieu. Après cela, nous nous sommes parlé au téléphone. Notre dernier appel a eu lieu en mai dernier alors que Michel était à l'hôpital.

J'ai perdu un grand ami et les sciences ont perdu un grand scientifique.



repORtage

La Recherche Opérationnelle à GRTgaz

Par Lucile Brethomé, Marie-Christine Plateau, Patrice Pézillier et Nicolas Derhy

Présentation du groupe

GRTgaz construit, entretient et développe le réseau de transport de gaz naturel sur la majeure partie du territoire français. Le gaz est acheminé pour le compte des expéditeurs, qui peuvent délivrer le gaz depuis un terminal méthanier, un point d'interconnexion avec un autre transporteur ou un stockage souterrain en soutirage. 32 500 km de canalisations enterrées permettent de transporter le gaz des fournisseurs vers les consommateurs raccordés à son réseau : gestionnaires des distributions publiques qui desservent les communes, centrales de production d'électricité et sites industriels. GRTgaz détient et exploite ainsi le réseau de gaz naturel à haute pression le plus étendu d'Europe. Pour répondre aux défis de la transition énergétique, le réseau exploité par GRTgaz accueille désormais également du biométhane produit localement, notamment à partir de matières issues d'exploitations agricoles, et soutient le développement de nouvelles filières de gaz renouvelables et bas carbone (pyrogazéification, gazéification hydrothermale), permettant de valoriser d'autres types de déchets ou les excédents de production d'électricité via l'hydrogène (Power to Gas). L'entreprise exporte ses savoir-faire à l'international, notamment des prestations développées par son centre de recherche RICE (Research and Innovation Center for Energy).

La Recherche Opérationnelle

Dans le cadre de ses activités, l'équipe Simulation et Modélisation des Réseaux de RICE conçoit et développe des solutions innovantes d'aide à la décision pour optimiser la gestion et le dimensionnement des réseaux de transport de gaz. Concrètement, l'équipe développe des prototypes et des logiciels industriels d'aide à la décision en passant par toutes les étapes, de l'expression du besoin à la modélisation mathématique, jusqu'à l'implémentation, les tests, la maintenance et la formation. Elle mène des études approfondies et offre un soutien méthodologique en matière de modélisation mathématique. Composée de huit docteurs et ingénieurs, l'équipe possède des compétences variées, allant de l'optimisation au développement informatique, en passant par les mathématiques appliquées et la mécanique des fluides. Forte d'une expertise approfondie dans le domaine de la structure du réseau, des modes d'exploitation et des enjeux liés à la transition énergétique, cette équipe est en mesure de relever les défis posés par ses clients.

LES SOLUTIONS ÉLABORÉES SONT REGROUPÉES EN TROIS GRANDS DOMAINES :

- 1. Programmation des réseaux :** Cette thématique concerne la gestion de l'utilisation des sources de flexibilité pour équilibrer les besoins intra-journaliers. Comment optimiser l'utilisation des capacités de stockage du réseau sur une base intra-journalière ? Quelles pressions minimales sont acceptables à l'entrée des réseaux régionaux ?
- 2. Planification des réseaux :** Dans cette catégorie, on se penche sur la configuration du réseau. Comment configurer les interconnexions du réseau ? Quel schéma d'exploitation réduit au maximum les sollicitations des compresseurs ? Peut-on intervertir l'usage de deux points d'approvisionnement pour réduire les dépenses opérationnelles ? Quelles sont les capacités commercialisables du réseau ?
- 3. Dimensionnement des réseaux :** Cette thématique vise à dimensionner les réseaux pour prévoir l'arrivée des nouveaux gaz. Comment dimensionner les réseaux pour prendre en charge l'émergence des nouveaux gaz (biométhane, hydrogène) ? Comment prévoir le mix énergétique en 2050 et définir la trajectoire d'investissement nécessaire tout en prenant en compte les politiques énergétiques en vigueur ?

Minopex : un modèle hybride pour la résolution du problème d'optimisation du parc de compresseurs

Le réseau de transport de GRTgaz est constitué d'un réseau principal, où le gaz circule à haute pression, et d'une multitude de réseaux régionaux, fonctionnant avec une pression plus basse. Le réseau principal est constitué d'artères interconnectées par des éléments actifs tels que des compresseurs (qui permettent d'augmenter la pression du gaz), des vannes de régulation (qui permettent de diminuer la pression), des vannes d'isolement, ainsi que des interconnexions. Une interconnexion est un point de jonction complexe de canalisations, composé de plusieurs ouvrages actifs (compresseurs ou vannes) qu'il est possible de disposer de différentes manières pour relier différentes artères du réseau. Ainsi, pour une interconnexion du réseau, plusieurs configurations sont possibles.

Le réseau GRTgaz doit garantir un approvisionnement en

GRTgaz détient et exploite ainsi le réseau de gaz naturel à haute pression le plus étendu d'Europe.





Figure 1 : Le Dispatching National de GRTgaz, qui pilote en temps réel le réseau de transport de gaz.

gaz en continu. Pour ce faire, il existe une entité au sein de GRTgaz - le Dispatching National - qui, appuyée par des centres de surveillance régionaux, pilote 24h/24 et 7j/7 les flux de gaz et contrôle les principaux organes qui composent le réseau de transport. Le Dispatching National gère donc en temps réel le pilotage du réseau de transport. Autrement dit, il est chargé de l'acheminement du gaz des points d'entrée du gaz (points d'interface avec les réseaux des pays voisins, terminaux méthaniers, stockages en émission) vers les réseaux régionaux.

Dans le processus opérationnel mis en place, des outils d'optimisation sont utilisés pour aider au pilotage du réseau, améliorer sa performance opérationnelle et économique (minimisation des OPEX). En effet, l'efficacité de l'utilisation du parc des stations de compression présent dans les interconnexions du réseau est cruciale dans l'exploitation du réseau de GRTgaz. Il s'agit de déterminer, en fonction des conditions du jour (telles que le schéma d'approvisionnement, la demande de stockage, les besoins en consommation, etc.) un programme qui minimise les coûts d'exploitation de la compression à l'échelle de l'ensemble du réseau. Ces coûts incluent l'énergie nécessaire à la compression, appelée énergie motrice, et les émissions de gaz à effet de serre. Ce défi se pose donc quotidiennement aux équipes du Dispatching National de GRTgaz : que ce soit en exploitation opérationnelle, pour optimiser le programme prévisionnel du jour et le réajuster au besoin en cours de journée, ou pour planifier des travaux visant à minimiser leur impact sur la capacité du réseau de gaz.

La Recherche Opérationnelle permet de répondre à ce défi au travers d'un outil d'aide à la décision, Minopex, qui fournit des schémas d'exploitation complets du réseau principal de transport à moindre coût. En utilisant un algorithme hybride composé d'un algorithme de recherche locale et d'une résolution d'un programme non-linéaire en variables mixtes, l'outil fournit, pour un scénario donné, les informations suivantes :

- Les débits et les pressions en tout point du réseau,
- La configuration optimale de chaque interconnexion du réseau,
- Les compresseurs à démarrer,
- Le routage du gaz à chaque carrefour.

LA SOLUTION PROPOSÉE PAR L'OUTIL DOIT VÉRIFIER DIFFÉRENTES NATURES DE CONTRAINTES :

- Des contraintes linéaires telles que les engagements contractuels (respecter par exemple les pressions minimales en sortie de réseau),
- Des contraintes fortement non linéaires telles que les équations physiques d'écoulement du gaz ou les contraintes propres aux stations de compression.

Enfin, Minopex doit être capable de déterminer une très bonne solution en un temps réduit d'environ quinze minutes. Cela permet aux pilotes du réseau d'être réactifs face aux modifications des prévisions du jour. Pour résoudre ce problème combinatoire et fortement non linéaire, une approche en deux temps, adaptée aux spécificités du réseau principal de transport de gaz, a été développée par RICE :

- Une heuristique permet tout d'abord d'obtenir une première solution d'exploitation dans un temps limité, en proposant une configuration pour chaque interconnexion du réseau.
- Ensuite, une approche hybride basée sur une méthode de recherche à voisinage variable a été mise en place pour améliorer la solution initiale et optimiser la configuration du réseau.

Les deux étapes de l'algorithme exploitent autant que possible le parallélisme afin de tirer parti des architectures modernes multicœurs de nos processeurs. Les résultats obtenus grâce à l'outil d'aide à la décision Minopex permettent des gains significatifs en OPEX chaque année. Ce logiciel étant utilisé dans un contexte opérationnel, RICE accompagne et aide à la formation des équipes pour la prise en main de l'outil et l'exploitation des résultats.

Biozone : un outil d'optimisation du raccordement des unités de biométhane

GRTgaz a l'ambition d'être un acteur leader de la transition écologique pour rendre possible un avenir énergétique sûr, abordable et neutre pour le climat.

L'entreprise participe ainsi au développement de la filière gaz renouvelables afin de sortir au plus vite de l'utilisation intensive de gaz fossile.

Le législateur accompagne cette démarche : la Loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte a fixé comme objectif de porter la part de gaz renouvelable à 10% de la consommation de gaz en France en 2030 - contre 2% actuellement. Filière la plus mature actuellement, le biométhane est un gaz 100% renouvelable produit localement par un processus de méthanisation à partir de déchets organiques : des déchets agricoles, ménagers, industriels mais également des ordures ménagères, des déchets issus de l'industrie agro-alimentaire, de la restauration collective, ou encore des boues de stations d'épuration. De quoi faire avancer la cause d'une nouvelle filière au service du « verdissement » du gaz et de l'économie circulaire. D'autres technologies (pyrogazéification, gazéification hydro-thermale, méthanation) vont s'ajouter au biométhane et permettront, selon une étude ADEME parue en 2018, de fournir à la France un mix de gaz 100% renouvelables en 2050.

La forte augmentation des volumes de gaz renouvelables injectés sur les réseaux de transport et de distribution nécessite des adaptations de ces réseaux conçus historiquement pour acheminer le gaz de manière unidirectionnelle depuis les points d'entrée centralisés comme les terminaux méthaniers, les stockages et les points d'interface avec les réseaux étrangers vers les consommateurs (réseaux de distribution et clients industriels). Par exemple, lorsque le volume de biométhane injecté dans un réseau de distribution est trop important pour être consommé localement, une compression (appelée « rebours ») doit être installée afin de faire « remonter » l'excès de gaz vers le réseau de transport. Afin de préparer au mieux l'augmentation progressive de la production décentralisée de gaz renouvelables pour les années à venir, GRTgaz a besoin de développer une vision long terme des investissements nécessaires. Pour répondre à cette problématique, GRTgaz a développé l'outil Biozone. Il s'agit d'un outil d'aide à la décision reposant sur des techniques de Recherche Opérationnelle comme la programmation linéaire. À la suite de la réalisation courant 2019 d'une première version « prototype » par la Direction Système Gaz de GRTgaz, avec le concours de l'EnergyLab



Figure 2 : Une interconnexion, carrefour du réseau de gaz.

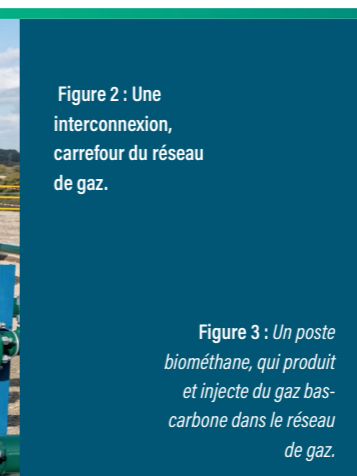


Figure 3 : Un poste biométhane, qui produit et injecte du gaz bas-carbone dans le réseau de gaz.



Figure 4 : Un rebours, ce compresseur permettant de remonter le surplus de production de biométhane du réseau de distribution vers le réseau de transport

de SIA Partners, la poursuite du développement et l'industrialisation de l'outil ont été repris par RICE, fort de ses compétences en mathématiques appliquées et développement d'outils.

L'objectif de Biozone est de déterminer le meilleur raccordement possible pour chaque unité de production de gaz renouvelable au réseau de transport ou de distribution. L'outil peut également choisir de poser des rebours sur le réseau de distribution ou de nouvelles canalisations lorsque localement, les volumes des unités s'y accordant le nécessitent.

PLUSIEURS DÉFIS D'ENVERGURE ONT DÛ ÊTRE RELEVÉS LORS DES DÉVELOPPEMENTS DE L'OUTIL COMME :

- La mise en place d'une optimisation globale sur tout le territoire couvert par GRT-gaz. Afin de déterminer une solution minimisant l'investissement global, Biozone n'optimise pas les raccordements localement, région par région. Il réalise une optimisation globale sur l'ensemble du territoire couvert par les réseaux de GRTgaz, soit environ les trois quarts de la France.
- La prise en compte des réseaux de transport et de distribution. Le réseau de transport, long de plusieurs milliers de kilomètres, est pris en compte de manière quasi exacte. Chaque réseau de distribution est représenté sous la forme d'une surface complexe à laquelle les producteurs de gaz renouvelable peuvent se raccorder.
- La prise en compte d'une dimension temporelle des scénarios de développement de la filière gaz renouvelable. Il est possible de définir des périodes spécifiques et de préciser l'évolution prévue des consommations et des quantités produites de gaz renouvelable. L'idée est d'évaluer l'impact des décisions d'investissement prises pour une période donnée sur les périodes suivantes, en tenant compte des incertitudes et des variations du développement de la filière. L'approche ainsi développée est plus réaliste et dynamique dans l'évaluation et la planification des investissements dans la filière gaz renouvelable.

Afin de permettre une exploitation directe des résultats de l'optimisation, Biozone génère plusieurs types d'indicateurs, et les restitue grâce à une représentation géographique. Celle-ci permet de pouvoir facilement zoomer/dézoomer sur une partie du territoire afin d'en visualiser facilement les raccordements proposés par l'outil.

Concrètement, Biozone a d'abord servi à alimenter avec des données chiffrées - notamment les nombres de rebours et les investissements associés - les discussions sur un horizon moyen terme (5 ans) autour de la mise en place du droit à l'injection, socle réglementaire encadrant le développement de la filière biométhane.

Ce socle réglementaire fournit des ratios technico-économiques limites dont notamment le coût d'investissement maximal par unité de biométhane injecté dans les réseaux. Ces ratios limites conditionnent la progression de la filière : trop hauts (i.e. peu contraignants), ils susciteraient beaucoup d'investissements pas toujours justifiés ; trop bas (i.e. très contraignants), ils freineraient les investissements et donc le développement du biométhane.

Plus récemment, Biozone a également servi à une estimation de la trajectoire des investissements réseaux à des horizons plus lointains (10 à 25 ans). L'étude a pu déterminer une trajectoire des investissements nécessaires en fonction des volumes de gaz renouvelables produits. Cela a permis d'initier les réflexions sur l'évolution du droit à l'injection pour les années à venir.

CONCLUSION

La Recherche Opérationnelle occupe une place de choix au sein de GRTgaz, où elle est déployée pour résoudre des problématiques opérationnelles complexes et pointues. Son utilité est double, apportant à la fois des avantages significatifs à l'entreprise tout en jouant un rôle crucial dans son engagement en faveur de la transition énergétique. Les travaux réalisés par l'équipe ont permis de générer des gains substantiels pour l'entreprise. Les solutions issues de la Recherche Opérationnelle ont contribué à optimiser les opérations, à réduire les coûts et à améliorer l'efficacité des processus. De plus, la Recherche Opérationnelle ne se contente pas de s'attacher aux aspects financiers, elle constitue également une alliée de choix dans la transition énergétique. En permettant de mieux gérer les ressources, de minimiser l'empreinte environnementale et d'adopter des pratiques plus durables, elle joue un rôle clé dans l'engagement de GRTgaz envers un avenir énergétique plus propre et plus responsable.



rADicalement ROAD

Paver la route pour une RO (plus) verte

Jean-Marc Nicod et Denis Trystram

Jean-Marc.Nicod@ens2m.fr,

Denis.Trystram@univ-grenoble-alpes.fr

1. CONTEXTE ET MOTIVATION

L'objectif de ce texte est de faire un retour sur notre intervention aux GreenDays organisés à Lyon en février 2023¹. La dernière édition datait de juin 2019, la toute première ayant été initiée en 2011 à Paris sous l'impulsion de Laurent Lefèvre, Jean-Marc Meaud et Jean-Marc Pierson. Le thème de ces journées est d'évoquer les activités de la communauté autour de la problématique de l'impact du monde digital dans la crise climatique et de la transition écologique. Cette année, pour la première fois, les GreenDays ont été organisés avec une ouverture inter-GdR où ont participé les GdR GPL, MADICS, ROD, RSD, SOC2 et le GdS Eco-Info.

Préliminaire : mise en contexte sur la crise climatique

Selon le dernier rapport du GIEC²,³ (ARS 6) paru le 20 mars 2023, il est avéré à travers de très nombreuses publications scientifiques que le réchauffement climatique est une conséquence des activités humaines⁴. Nombreux sont celles et ceux qui ont lancé des alertes depuis des décennies. Nous sommes au pied du mur et en avons l'évidence aujourd'hui à travers ce rapport. On parle beaucoup des émissions carbone, source importante du réchauffement via l'effet de serre, qui ne sont qu'une partie des problèmes. Plusieurs autres limites planétaires sont critiques ou déjà dépassées. Il fait également consensus que le domaine de l'ICT (information and communication technologies) participe significativement aux émissions de carbone à l'origine du réchauffement. L'impact du domaine du numérique⁵ n'est pas facile à cerner, car il est partout. Il n'est pas non plus évident de définir

clairement le périmètre du secteur. Une estimation raisonnable est qu'il consomme environ 6% de l'énergie primaire mondiale (énergie présente à l'état naturel). Une fois transformée en énergie secondaire utilisable, ce secteur pèse pour entre 3%⁶ et 4%⁷ des émissions de CO₂, avec un taux de croissance important, entre 6 et 9%⁸. L'objectif de notre intervention aux GreenDays était d'une part de présenter les activités du GdR ROD en lien avec la transition écologique et son usage du numérique, et d'autre part d'interroger le bilan global des bénéfices que notre communauté apporte dans la gestion de la crise et l'optimisation de pratiques, et parallèlement de tenter l'exercice difficile d'une auto-critique (en posant la question de l'efficacité face à l'urgence et en prenant en compte le coût du déploiement des méthodes associées). Le point essentiel pour nous est d'avoir ouvert le débat de façon constructive.

2. LE GDR ROD ET SON RAPPORT AU NUMÉRIQUE

Le GdR ROD⁹, comme les autres GdR rattachés à l'INS2I¹⁰, a un impact numérique important dans la modélisation et les outils produits, et donc il porte aussi tout naturellement des travaux qui questionnent l'usage du numérique.

2.1 La thématique environnementale au sein du GdR ROD

La « transition écologique » (associée à la notion de soutenabilité – traduction du terme anglais sustainability – ou durabilité, c'est-à-dire la possibilité de continuer à vivre dans un monde aux ressources

finies) se décline entre une vision centrée sur la technique (reposant sur la confiance dans la technologie et dans l'action politique traditionnelle) et une vision plus large de sobriété/frugalité (qui questionne l'accélération des activités humaines, remet en cause la production vers la croissance sans limite et interroge nos modes de vie et les usages de la technologie) qui porte une ambition plus forte au regard des enjeux, parfois en rupture avec les pratiques actuelles.

2.2 Catégorisation à gros grain des actions de la communauté ROD en lien avec l'écologie

Depuis quelques années, la direction du GdR ROD a lancé un groupe de réflexion sur le sujet et a mené une étude interne qui identifie deux groupes d'actions : les actions « petits pas » (ce que l'on pourrait rapprocher de la notion d'écogestes), focalisées et plutôt individuelles, mais facilement réalisables, voire déjà en place ; les actions « systémiques » dont le périmètre est beaucoup plus large, mais aussi plus difficiles à mettre œuvre par ses dimensions à la fois technique et sociale.

Si l'on approfondit, voici une catégorisation plus détaillée des deux groupes :

Les actions **locales** destinées à changer les pratiques individuelles ou en entreprise à petite échelle ou sur une petite communauté ou sur un thème spécifique (par exemple maraîchage, recyclage, production ciblée d'énergie, etc.).

En particulier, l'optimisation « traditionnelle » de l'industrie et des services publics comme le fait depuis longtemps la communauté RO mais avec la prise en compte de l'environnement (économie

circulaire, optimisation des transports sur critères énergétiques, évaluation de nouvelles technologies).

Les actions **globales** impliquant des décisions pour infléchir les politiques publiques ou stratégies d'entreprises (évaluation des changements de mode de transport public, méthodologies pour la prise en compte des analyses de cycle de vie complètes, tarification ou normes nouvelles, contraintes législatives, etc.).

Nous entendons par là des propositions visant à anticiper les risques ou visant à maintenir un service en cas de pénurie de ressources (énergie, eau, électronique). Ces changements systémiques questionnent les usages actuels pour aller jusqu'à l'arrêt volontaire d'utiliser des énergies fossiles. Il s'agit de proposer un accompagnement technique des villes et des territoires en transition, de revoir les flux de matière, d'imaginer des solutions low-tech en lieu et place de la high-tech chaque fois que cela est possible, de prendre des trajectoires de bifurcation ou d'arrêt d'activités, etc.

Rappelons que la communauté ROD est bien armée sur le plan méthodologique, avec une activité centrée sur le numérique, manipulant des données, classiques ou massives, calculant souvent de façon intensive. La communauté est par ailleurs en contact étroit avec les entreprises avec une activité globalement tournée vers la société en général. Elle regroupe des individus plutôt concernés et au courant les questions écologiques dans leurs vies personnelles et qui sont parfois en tension, allant parfois jusqu'à la dissonance, dans leurs activités professionnelles.

2.3 La voie principale : la RO for green

Une façon de mesurer l'appétence de la communauté pour les questions environnementales est d'analyser le contenu des présentations aux congrès de la ROADEF. En se basant uniquement sur les mots des titres des présentations faites dans les 99 sessions de la conférence ROADEF de 2023 à Rennes¹¹, nous avons identifié environ 10% des présentations en lien avec une problématique environnementale (un intérêt, un contexte ou une fonction objectif) ou la transition énergétique. Ce pourcentage a augmenté depuis 2022. La très grande majorité s'inscrit dans des actions « petits pas ».

Plusieurs présentations à la dernière édition du congrès ROADEF à Rennes illustrent une volonté d'agir positivement pour diminuer les impacts négatifs des activités humaines et pour encourager les pratiques vertueuses par une inflexion des thématiques de recherche vers des sujets qui font sens. A titre d'exemples on peut citer des travaux qui améliorent l'usage des flottes de vélos en ville, le tracé des routes aériennes, les livraisons dans le domaine de la logistique du dernier kilomètre en ville, ceux qui combattent le surdimensionne-

ment d'infrastructures énergivores, cherchent à limiter/modifier la consommation des centres de données, ou guident les choix vertueux en agriculture dans le contexte du changement climatique. L'engouement nouveau autour de ces thématiques est visible depuis quelques années. Il montre le début d'une prise de conscience par la communauté. Il devient primordial d'inclure le contexte de la crise climatique dans nos recherches. Ainsi, de nouveaux problèmes doivent être envisagés et la manière de les résoudre doit évoluer. Cependant, les hypothèses des travaux existants restent la plupart du temps restrictives ou grossières. Les objectifs considérés orientent des solutions qui n'ont aucune garantie réelle de contribuer, même modestement, à la motivation initiale qui est de combattre le réchauffement par la seule résolution d'un modèle mathématique. C'est même quelquefois contre-productif si l'on considère le risque des effets indirects et rebonds. Le constat est qu'une prise de conscience collective existe dans notre communauté, ce qui est très positif, même si nous sommes encore loin du compte.

Une représentation sous la forme d'un nuage de mots est présentée dans la figure 1, elle illustre la fréquence des sujets adressés par les articles s'inscrivant dans la problématique en lien avec la question écologique. Il ne s'agit que d'une vue qualitative macroscopique qui a pour objectif d'illustrer la diversité des sujets abordés.

2.4 Ouvrir le débat

Pour résumer, la communauté prend de plus en plus conscience de la question écologique et des impacts positifs et négatifs de la discipline. Les outils de mesure énergétique des codes numériques existent et sont assez faciles à utiliser, même s'ils restent confidentiels¹². Il est aujourd'hui possible pour chacun d'évaluer l'impact direct d'une solution numérique, au moins en ordre de grandeur et ainsi, se rendre compte si le bilan global (ce que l'on a amélioré au regard du coût de déploiement/utilisation de cette solution) est positif ou non in fine. Les effets indirects, induits ou rebonds sont beaucoup plus difficiles à estimer, et paradoxalement, il faudrait pouvoir en tenir compte avant de déployer une solution¹³.

Les « écogestes » (actions petits pas) sont utiles, d'une part parce qu'ils sont faciles à développer et contrôler au niveau individuel et parce qu'ils permettent de se mettre en marche dans la direction de la prise en compte de la crise climatique, mais ils ne résoudre pas à eux seuls le problème. Il apparaît clairement à travers les débats souvent menés à l'issue des sessions du dernier congrès de la ROADEF que la communauté est en demande d'éclairage pour aller plus loin, et parfois même sur l'orientation des recherches.



Figure 1. Nuage de mots des thèmes couverts par les 10% des présentations à ROADEF dont le problème à résoudre est en lien avec le réchauffement climatique ou les pratiques visant à limiter l'impact de telle ou telle action en la matière (<https://wordart.com>)

Au niveau des présentations plénières des GreenDays, on voit clairement que le thème du « green » est une préoccupation réelle et dont l'intérêt est croissant, témoin que la prise de conscience est large également dans toutes les communautés que représentent les GdR participants. Cette préoccupation va d'ailleurs au-delà des GreenDays avec d'autres initiatives similaires comme l'organisation récente d'une journée sur le même thème par le GdR RADIA le 4 avril 2023. Ainsi, une ouverture de notre GdR vers d'autres GdR apparaît naturelle autour du thème du green et permet d'envisager le volet systémique global de la question d'un numérique vert. Certaines initiatives montrent également qu'une ouverture vers les Sciences Humaines et Sociales est possible, comme dans le GdR Internet, IA et Société. Cette ouverture porte en elle davantage de garantie de compréhension profonde des problèmes posés. Ainsi, les solutions et leur mise en œuvre auraient possiblement plus d'impact que la résolution du même problème chacun dans sa communauté scientifique. Il s'agit d'initiatives très positives, mais ponctuelles. Elles montrent cependant une autre façon de travailler. Il s'agit d'un processus difficile, il y a un temps nécessaire pour apprendre à parler le même langage et se comprendre. Les résultats ne sont donc pas immédiats comme tout travail interdisciplinaire. L'ouverture peut apparaître comme une bonne manière d'appréhender le « tout » et d'en saisir la complexité, ce qu'une vision centrée sur un seul champ disciplinaire ne permet pas. Comment cette question de décloisonnement peut-elle se traduire pour notre communauté ? La Recherche Opérationnelle a en effet une longue tradition de multidisciplinarité, mais elle est principalement guidée par la culture et les pratiques des « sciences dures » (Modélisation et Optimisa-

¹ <http://perso.ens-lyon.fr/laurent.lefevre/greendayslyon2023>

² rapport long : https://report.ipcc.ch/ar6syr/pdf/IPCC_AR6_SYR_LongerReport.pdf

³ https://report.ipcc.ch/ar6syr/pdf/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf

⁴ CNRS, le journal: L'origine humaine du réchauffement...

⁵ <https://interstices.info/le-vrai-cout-energetique-du-numerique>

⁶ <https://doi.org/10.1016/j.patter.2021.100340>

⁷ https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2019/03/Lean-ICT-Report_The-Shift-Project_2019.pdf

⁸ https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2023/02/TSP_5G_SYNTHESIS_ENG.pdf

⁹ <http://gdrro.lip6.fr>

¹¹ <https://roadef2023.sciencesconf.org>

¹² Mathilde Jay, Vladimir Ostapenko, Laurent Lefèvre, Denis Trystram, Anne-Cécile Orgerie, An experimental comparison of software-based power meters, CCGrid 2023

¹³ <https://www.fun-mooc.fr/fr/cours/impacts-environnementaux-du-numerique>

tion). En termes de prise de décision, il est habituel de différencier des niveaux opérationnels et stratégiques au sein des entreprises privées ou publiques. Mais on doit aussi réfléchir à un autre niveau impliquant des décisions politiques nécessitant de consulter, ou a minima, la transparence : demander l'adhésion des citoyens. Examinons maintenant quelques pistes à la hauteur des enjeux pour relever les défis.

3. QUELQUES PISTES

Pour aller plus loin, deux pistes se présentent à nous, elles adressent des niveaux d'implication différents. D'une part, aller au bout de ce qu'on sait faire et le faire bien et d'autre part, expérimenter des voies alternatives éloignées des cadres classiques.

3.1 S'emparer des problèmes avec exigence
Nous, chercheurs (en ROD), faisons de la recherche pour comprendre des situations au service de la société et les optimiser, aider à éclairer les prises de décision. Mais, si la Science est un phare, elle n'éclaire que dans certaines directions, décidées majoritairement en lien avec des appels à projets pilotés par des agences de moyens ou des financements industriels partisans.

Les idées nouvelles, hors de ce cadre, portées par la communauté académique, diffusent dans la société à destination des décideurs publics et privés ou via des actions de médiation vers le grand public, jeunes et moins jeunes. Qu'est-ce que cela veut dire concrètement ?

Les travaux académiques sont la plupart du temps basés sur des modélisations qui sont des abstractions du monde réel. Ce n'est pas à nous de définir ex-nihilo les problèmes ! Les problèmes réels sont par essence pluridisciplinaires. Il est indispensable que les hypothèses et les contextes soient explicités clairement et argumentés pour être bien compris. Les validations doivent être rigoureuses, ouvertes, reproductibles et complètes. De plus en plus de collègues universitaires servent de relais et sortent de leur tour d'ivoire, pour que les discours soient diffusés et mieux reçus à la fois par le monde politique et par le monde économique.

Il est important de noter également que les propositions qui pourraient être les plus efficaces se heurtent à des forces négatives de désinformation conscientes ou portées par des lobbies puissants (imaginaire politique ou intérêts particuliers de grosses entreprises, producteurs d'énergie, industries agro-alimentaires, laboratoires pharmaceutiques, etc.)

Ce mouvement, d'une recherche hors sentiers battus par les appels à projets et les financements industriels, des chercheurs et des ingénieurs, tourné vers les problèmes critiques de la société, doit être exemplaire au sens du respect d'une vérité scientifique indispensable au fonctionnement démocratique. Mais, il n'y a pas de recherche objective sans liberté de valeurs. Nous avons donc une exigence de recherche d'objectivité et de transparence de ces valeurs. Ici encore, l'ouverture vers les Sciences Sociales permet de dépasser une vision restreinte purement technique. Osons sans crainte le débat de positions plus radicales.

3.2 Se mettre en mouvement

Après cinquante ans d'alerte de la dégradation de la planète comme conséquence de l'accélération des activités humaines, nous sommes aujourd'hui au pied du mur. La question essentielle que l'on doit se poser dans la communauté est : « Peut-on encore continuer à compter sur les solutions purement technologiques pour résoudre la crise climatique ? »

Comme nous l'avons évoqué plus haut, l'Université a le devoir de sortir de son cadre pour s'ouvrir et jouer son rôle dans la résolution des crises actuelles. Plusieurs questions se posent, en particulier : « Les solutions académiques construites dans les laboratoires, loin du terrain, sont-elles vraiment déployables en pratique ? » En imaginant que oui, « Ces solutions sont-elles vraiment à la hauteur des enjeux ? » En effet, nous produisons des solutions pour réduire de quelques pourcents le facteur d'accélération en oubliant le plus souvent de compter l'ensemble des coûts des ACVs (analyse de cycle de vie) de la mise en œuvre numérique alors qu'il faudrait stabiliser la croissance, voire l'arrêter. Finalement, « Quels mécanismes permettent de s'assurer que ces solutions ne sont pas contre-productives voire pire que le mal qu'elles combattent compte tenu des effets rebonds par exemple ? ».

Ainsi, les solutions purement technologiques n'étant pas à la hauteur des réponses à la crise climatique, nous avons la responsabilité de faire quelque chose. Nous avons la possibilité d'agir dès maintenant et nous engager sur le « choix » des sujets (candidatures à des appels à projets et origine des financements) ; la diffusion vers le grand public de la connaissance des enjeux et des pistes de sortie, sans tabou ; la façon de conduire la recherche avec éthique, en particulier vis-à-vis de l'environnement, mais ne mélangeons pas les deux questions comme c'est fait le plus souvent ; l'interprétation de nos résultats et expériences, sans esprit partisan, mais avec exigence ; l'engagement dans un collectif.

De plus en plus de groupes se constituent, citons par exemple le GdR labo1point5, le GdS CNRS EcoInfo, le mouvement Scientifiques en rébellion, etc. Avant de conclure, la dernière question à se poser face aux fortes tensions du sujet concerne un problème qui fâche : doit-on arrêter des recherches ? comme l'a fait en son temps Alexandre Grothendieck¹⁴, médaille Fields en 1966. Faut-il en avoir peur ? La bifurcation est un sujet d'actualité, conséquence de dissonances ou de recherche de sens qui ne trouve pas de réponse chez certains doctorants et collègues. Le boycott de certaines entreprises est la face cachée de cette médaille, c'est un sujet délicat qui, pour l'instant, a été mis de côté.

Cependant, de nombreux débats sont en cours au niveau des chercheurs sur ce sujet. Conclusion : Réenchantons la ROD

Le réenchantement que nous appelons ici de nos vœux est le contrepoint de la vision dominante aujourd'hui d'une société toujours plus technologique. Elle consiste à réinventer de nouveaux systèmes de valeurs en remettant en question la logique d'outils purement productivistes au sens où l'entendait de nombreux intellectuels à partir des années soixante-dix¹⁵.

Les nombreux échanges que nous avons eus avec les collègues au sein de la communauté et pendant les GreenDays ont confirmé la prise de conscience des questions environnementales, parfois accompagnées d'une prise en compte de ce sujet dans les modélisations et méthodes de résolution, plus rarement dans les changements de pratiques. La route est ouverte vers des pratiques à la hauteur des enjeux. Le chemin est difficile, mais quelques exemples inspirants nous montrent que cela est possible, en particulier Olivier Hamant¹⁶ qui nous rappelle que le développement des êtres humains est basé sur des critères de sous-optimalité et non de performance ou Valérie d'Acremont¹⁷ qui nous invite à penser autrement en relatant son expérience d'une solution sans numérique qui remplace avantageusement le déploiement à large échelle de systèmes experts sur tablettes numériques pour l'aide au diagnostic en Afrique.

hORs-les-murs

L'Explicabilité en Recherche Opérationnelle

..... par Prunelle Vogler et Adèle Pass-Lanneau

1. À l'origine de l'explicabilité : l'Intelligence Artificielle

Le terme d'explicabilité (explainability en anglais) fait son apparition dans les journaux et les conférences d'intelligence artificielle dans les années 2000. L'enjeu d'expliquer les résultats émerge avec le développement des premiers modèles d'apprentissage. Pourquoi un modèle, entraîné d'une certaine façon, renvoie une certaine réponse ? Le but des explications est avant tout d'améliorer la confiance des utilisateurs en ces nouveaux modèles pour favoriser une large adoption de l'IA. La Commission nationale de l'informatique et des libertés (CNIL) donne la définition suivante. « Dans le domaine de l'intelligence artificielle, l'explicabilité est la capacité de rendre compréhensible les éléments pris en compte par le système d'IA pour la production d'un résultat. [...] Les explications doivent être adaptées au niveau de compréhension de la personne auxquelles elles sont destinées. »

Aujourd'hui le développement de l'explicabilité des algorithmes d'intelligence artificielle représente un champ de recherche à part entière, l'intelligence artificielle explicable ou XAI (pour explainable artificial intelligence). Il se distingue de l'interprétabilité, concernant d'avantage les experts, qui consiste à faire de la rétro-ingénierie pour interpréter les différentes couches des réseaux de neurones en les rapprochant des processus d'apprentissage humain. L'explicabilité se concentre sur les résultats retournés par le modèle, et c'est pourquoi ce domaine peut être généralisé à l'ensemble des sciences algorithmiques.

Ainsi la situation suivante peut apparaître dans tout domaine algorithmique. Nous avons des experts, qui créent un outil algorithmique, qui donnent des réponses à des utilisateurs. Ce que nous voulons, c'est que les experts expliquent la réponse de l'outil, afin

que les utilisateurs puissent la comprendre. Mais que veut dire expliquer ? Que veut dire comprendre ? Étymologiquement, expliquer signifie déplier : il faut déplier ce processus algorithmique complexe pour que l'on puisse, dans une certaine mesure, en voir les tuyaux. Cela dit, il n'est pas utile non plus de tout montrer, car l'utilisateur non-expert aurait du mal à faire quelque chose de toutes ces informations. L'explication comporte donc une part de mise en scène des informations les plus saillantes, de pédagogie. Comprendre signifie prendre avec soi : on souhaite que l'utilisateur saisisse les explications, mais aussi qu'il s'approprie les résultats, qu'il s'approprie même l'outil. Cette familiarité entre l'utilisateur final et l'outil est souvent le gage de la réussite des projets algorithmiques.

2. L'intérêt de l'explicabilité en RO

La communauté RO a pu longtemps se sentir plus éloignée des questions d'explicabilité que celle du Machine Learning. Une raison possible est que lorsqu'on fait de l'optimisation sous contraintes (PLNE, programmation mathématique en général), on dispose d'un modèle mathématique. Ce modèle peut donner l'impression que l'on a une explication à toute solution retournée par un algorithme de résolution. Pourquoi la solution A ? Parce qu'elle est optimale pour le problème P. Testez cet argument sur votre utilisateur ou client final : il y a fort à parier que cela ne lui conviendra pas.

Le modèle n'est pas, en lui-même, en RO, une explication à une solution. Et ce pour plusieurs raisons.

1) D'abord, il contrevient au principe que nous avons cité selon lequel « les explications doivent être adaptées au niveau de compréhension de la personne » qui les reçoit. Les contraintes d'un programme mathématique sont en général techniques, elles sont

écrites dans le royaume mathématique où les experts en RO sont à l'aise, donc ce ne sont pas des explications pour l'utilisateur. L'utilisateur logisticien qui se demandera pourquoi on livre le client A avant le client B sera probablement perdu si vous lui expliquez cela par les contraintes de sous-tours dans un problème de routing.

2) Ensuite, même dans le cas où vos utilisateurs sont en mesure de comprendre les contraintes du problème, donner les contraintes comme explications c'est montrer toute la tuyauterie, sans hiérarchisation des informations. Dans bien des cas, cela ne fait pas émerger de sens pour l'utilisateur : il ne retiendra qu'un grand problème compliqué.

3) Enfin, et c'est là une difficulté plus profonde, le problème d'optimisation ne comporte pas intrinsèquement de justification sur l'optimalité de la solution. C'est tout l'objet d'ailleurs, des algorithmes de branchement, que de démontrer l'optimalité.

Alors, comment sortir d'une explication « Pourquoi ? Parce que ! » ?

3. Les grands enjeux de l'explicabilité

L'explicabilité vise à remplir plusieurs objectifs en faveur d'une algorithmique comprise, acceptée, largement diffusée, et compatible avec le droit.

L'explicabilité est un levier important de confiance pour la diffusion des outils de RO

L'utilisateur qui s'approprie les outils de RO sera plus à même de les utiliser sur le long terme, de les utiliser un peu au-delà du cadre dans lequel l'outil a été conçu. L'utilisateur devient l'ambassadeur de l'outil, et donc améliore la diffusion de l'outil et des méthodes algorithmiques dans son entité, entreprise.

L'explicabilité est un attendu sociétal fort, une condition de l'acceptabilité des algo-

¹⁴ https://fr.wikipedia.org/wiki/Alexandre_Grothendieck

¹⁵ Bernard Stiegler, *Ars Industrialis - réenchanter le monde*, Champs Essais, Flammarion 2006

¹⁶ La Troisième Voie du vivant, Odile Jacob 2022

¹⁷ https://www.youtube.com/watch?v=oKcy_cY0Q0w

rithmes. D'après un sondage de 2017, 53% des Français estiment que les algorithmes ne sont pas fiables, part qui diminue nettement avec le niveau de connaissance sur le sujet des personnes interrogées. Cela prouve qu'une meilleure compréhension du fonctionnement des algorithmes peut participer à renforcer la confiance qui leur est accordée. L'explicabilité est d'autant plus importante que l'impact de l'algorithme en question sur le quotidien de tout un chacun est fort. Qui cherche à comprendre comment Youtube choisit ses publicités ? Peu de gens s'intéressent au détail de son fonctionnement, alors que d'autres algorithmes comme un outil de Ressources Humaines peuvent susciter de nombreux débats au sein d'une organisation.

En recherche opérationnelle, les outils de résolution des problèmes de planning de personnel et d'affectation de tâches décident de l'emploi du temps de personnes, de leur lieu de travail ou de leurs congés. Ces algorithmes ont un impact particulièrement direct sur le quotidien des personnes concernées. Ce n'est donc pas un hasard si les algorithmes d'ordonnement sont les premiers modèles de RO sur lesquels des recherches en explicabilité ont été menées.

Lorsque la résolution est exacte, l'enjeu est moins de justifier le résultat que de faciliter sa compréhension en apportant des arguments adaptés. En revanche, pour les méthodes approchées, il faut aussi argumenter l'éventuelle sous-optimalité du résultat. Pour l'instant, il n'y a pas d'approche générale des questions d'explicabilité en RO, car les études se concentrent sur des problèmes particuliers. Nous donnons ici des pistes, à adapter à chaque problème, pour répondre aux questions sur les solutions optimales.

L'explicabilité est même parfois une obligation légale.

Le règlement européen général sur la protection des données (RGPD) en vigueur depuis 2018 encadre le droit des citoyens européens d'obtenir des explications lors de l'usage d'algorithme de prise de décision automatique les concernant. Il stipule ainsi que les responsables des ressources humaines ne peuvent pas appuyer leurs décisions sur le résultat d'algorithmes dont ils ne savent expliquer

en détail la logique. Cette réglementation européenne, ainsi que le plan américain de 2022 sur l'IA prévoyant un droit à l'explication, incitent à développer l'explicabilité des algorithmes d'aide à la décision touchant directement des citoyens.

4. Un exemple d'explicabilité pour un problème de cutting stock

Nous avons réalisé dans le cadre d'un stage à la Direction Générale de l'Armement une approche théorique et un module pour expliquer les solutions d'un problème de type cutting stock. Sans prétendre à livrer ici une étude bibliographique globale des travaux en cours dans la communauté RO sur l'explicabilité, nous vous proposons un retour d'expérience sur ce cas particulier.

4.1. Pourquoi expliquer ?

Au-delà des objectifs généraux déjà cités, qui justifient que l'on s'intéresse aux problématiques d'explicabilité, voici quelques raisons particulières à la DGA, et qui ont motivé nos travaux.

Les modèles de RO sont utilisés pour éclairer des choix d'investissements très lourds pour le système de défense, avec de l'argent public. Ainsi, il est important de pouvoir justifier les différents aspects des décisions.

Ces modèles sont utilisés dans un contexte prospectif, autrement dit, certains paramètres numériques peuvent évoluer ou être revus au cours du temps. De ce fait, connaître l'impact des paramètres sur les solutions est important : l'explicabilité recoupe alors l'analyse de sensibilité.

Les solutions obtenues par la RO sont partagées avec des officiers d'État-major. Il faut donc être capable d'expliquer les sorties des outils RO pour que les chefs s'en emparent.

4.2. Développer des explications : expliquer quoi et comment ?

Expliquer les résultats d'un problème de RO nécessite d'adopter le point de vue d'un utilisateur non-expert, considérant le solveur comme une boîte noire. Développer des explications utilisables en pratique nécessite alors trois étapes : repérer les questions,

définir les réponses valables (à la fois vraies et adaptées au public visé) et automatiser la réponse aux questions.

Dans ses travaux de 2023, Mathieu Lerouge repère plusieurs types de questions qui conditionnent la forme que vont prendre les explications d'un problème d'optimisation combinatoire.

- « Pourquoi n'a-t-on pas A comme résultat à la place de B ? » Ces questions nécessitent de comparer la solution renvoyée avec une autre solution en testant la faisabilité et la qualité de cette dernière.

- « Si on avait l'entrée a, est-ce qu'on aurait B ? » Les explications sont alors des scénarios dans lesquels on explique les conséquences d'une modification des entrées sur les sorties.

- « Comment avoir A comme résultat ? » Ces questions demandent de trouver la modification minimale des entrées donnant un résultat spécifique. Les explications qui en découlent sont appelées contrefactuelles (counterfactual explanation), et s'obtiennent en résolvant un nouveau problème d'optimisation².

Ces questions doivent bien sûr être adaptées à chaque type de problème. À défaut d'une méthode générale, elles donnent des pistes pour développer l'explicabilité d'un problème spécifique.

La forme de notre problème et le contexte de sa résolution nous ont amené à nous concentrer sur la première question. Dès lors, comment définir les réponses valables à ce type de questions ? Dans notre problème, le résultat renvoyé est \$A\$ plutôt que \$B\$, soit parce que \$B\$ n'est pas admissible, dans ce cas, l'explication est donnée par la contrainte rompue, soit parce que \$B\$ est sous-optimale. Nous considérons que ces deux explications peuvent être comprises aisément par l'utilisateur, accompagnées de précisions à chercher dans la structure de notre problème et détaillées dans la suite.

4.3. Le cas d'étude

Nous avons travaillé sur un problème métier simplifié, proche d'un problème de cutting stock. Dans ce problème classique, on dispose de rouleaux de papier pouvant être dé-

coupés selon différents motifs pour produire des objets de différentes formes. On veut utiliser le moins de rouleaux possibles tout en garantissant un nombre donné de chaque type d'objets. Le but est de choisir les bons motifs de découpage, et les variables correspondent alors aux nombres de rouleaux que l'on découpe selon chaque motif.

[Énumérer d'abord, expliquer ensuite.]

Ce problème linéaire en nombres entiers est particulièrement facile à résoudre sur nos instances : sur les plus larges instances, il se résout en quelques secondes. Pour répondre à la question « Pourquoi n'a-t-on pas A comme résultat à la place de B ? », nous avons choisi de profiter de cette résolution efficace et d'énumérer toutes les solutions optimales. Ainsi, l'utilisateur posant cette question proposera une solution alternative \$A\$ qui n'a pas été retournée, donc n'est pas optimale. On se ramène donc au cas où la solution \$A\$ diffère de chaque solution optimale d'au moins une variable. La question devient alors : pourquoi \$A\$ n'est-elle pas optimale ? Qu'est-ce qui la différencie de l'ensemble des solutions optimales énumérées ?

[Identifier des cas particuliers faciles.]

Pour répondre à cette question, nous caractérisons les valeurs prises par les variables dans les solutions optimales. Le but est de justifier que les valeurs des variables de la solution A ne permettent pas l'optimalité.

Dans certains cas particuliers de ce problème, les solutions optimales peuvent être trouvées par des algorithmes gloutons assez naturels, le caractère optimal de ces solutions est alors particulièrement facile à justifier.

Par exemple, un cas facile de notre problème regroupe les situations dans lesquelles la matrice des contraintes est diagonale par blocs. On peut alors facilement trouver une solution optimale en remplissant une à une les contraintes. On fixe ainsi les variables les unes après les autres. La valeur optimale de chaque variable est déterminée par une contrainte dimensionnante et les valeurs des variables déjà fixées.

Une fois le déroulement de l'algorithme exposé, l'utilisateur comprend aisément qu'une modification des variables entraîne soit une sous-optimalité soit la rupture d'au moins une contrainte. **Les explications découlent donc directement de la facilité (et polynomialité) de la résolution du problème dans ce cas.**

[Simplifier, et trouver une structure par bloc au problème général.]

Nous avons commencé par simplifier le problème au maximum pour se ramener à ces cas particuliers. Pour cela, nous avons cherché à réduire le nombre de variables et le nombre de contraintes de variables et le nombre de contraintes de variables.

Une relation transitive de dominance entre les motifs de découpage a été définie. Ainsi, un motif a qui permet de découper plus d'objets pour chaque type d'objet qu'un autre motif b (et strictement plus pour au moins un objet), le domine. On dit que b est dominé.

Nous avons ensuite établi qu'un motif de découpage dominé n'apparaît dans les solutions optimales qu'éventuellement pour remplacer un motif qui le domine. Cela permet d'expliquer les valeurs prises par la variable correspondant à un motif de découpage dominé. On se concentre alors pour la suite sur les solutions particulières utilisant des motifs non dominés, ce qui réduit le nombre de variables.

Après avoir simplifié notre problème de la sorte, les matrices des contraintes de nos instances sont particulièrement creuses, et nous faisons émerger une structure par blocs. À chaque bloc correspond un sous-problème de notre instance de départ. Les valeurs des variables dépendent donc uniquement des contraintes et des autres variables de leur bloc. A fortiori, les blocs de nos instances correspondent aux cas particuliers faciles à résoudre et à expliquer. Nous avons donc expliqué les valeurs prises par les variables dans les solutions optimales, en les expliquant au sein de chaque sous-problème.

En pratique, ces informations ont été regroupées dans un tableau de bord, implémenté sous Python. Ce type d'outil permet à l'expert RO d'inspecter très rapidement les résultats et les utiliser pour expliquer les solutions, avec :

- les relations de dominance entre les variables,
- les valeurs prises par les variables dans l'ensemble des solutions optimales,
- les explications des valeurs prises par les variables au sein de chaque bloc et en s'appuyant sur les contraintes dimensionnantes.

Connaître l'impact des paramètres sur les solutions est important : l'explicabilité recoupe alors l'analyse de sensibilité.

CONCLUSION

La thématique de l'explicabilité est relativement neuve en RO, mais trouve toute sa pertinence pour mieux diffuser et faire accepter les outils algorithmiques que nous, praticiens de la RO, nous développons.

Dans le cas que nous avons étudié, une approche complète d'explication a pu être mise en œuvre, jusqu'à un tableau de bord. Nous avons pu construire cette approche en exploitant à fond les propriétés du problème de cutting stock et de nos instances très structurées

L'extension de cette démarche à d'autres problèmes plus durs, sur des instances où l'énumération des solutions est computationnellement impossible, reste une perspective de recherche appliquée très large : nous espérons que ce retour d'expérience pourra motiver nos collègues à s'y pencher, pour expliquer les solutions de leurs propres problèmes métier.

¹Notoriété et attentes vis-à-vis des algorithmes, étude IFOP pour la CNIL.

²Counterfactual Explanations for Optimization-Based Decisions in the Context of the GDPR, Korikov et al, 2021.

Vie du GDR ROD

Par Christian Artigues, Nadia Brauner et Pierre Fouilhoux
<http://gdrro.lip6.fr/>

Bilan de l'année 2023

1. ÉVOLUTIONS 2023

Cette année 2023, le changement le plus visible pour notre GDR est son changement de nom. Après la validation par la direction du CNRS en mars 2023, le nom a changé pour adjoindre le mot "Décision", en cohérence avec la définition même de la Recherche Opérationnelle comme une des sciences de la décision. Le GDR s'est ainsi doté du nouveau logo:



Un deuxième changement de dénomination a eu lieu en 2023 : notre rattachement au sein du CNRS, change de nom passant de "institut" (INS2I) pour devenir "CNRS Sciences informatiques". Ce changement crée à cette occasion le mot valise "Sciences informatiques" que le CNRS désire mettre en avant pour représenter les aspects fondamentaux de l'informatique.

Après la création en 2022 des 3 axes transverses (RO, Environnement et société / RO et Ethique / RO Quantique), il n'y pas eu de changement structurel en 2023. Des changements de pilotage sont en cours avec des nouveaux responsables pour le groupe de travail GOTHA (Ordonnement Théorique et Appliqué), qui sont maintenant Giorgio Lucarelli (LCOMS) et Hasan al Hassan (UCO) ; et aussi pour l'action transverse DOR (Décision et Optimisation Robustes) animée à présent par Vincent Leclere (CERMICS), Ayse Nur Arslan (IMB) et Michaël Pöss (LIRMM).

2 - ACTIVITÉS D'ANIMATION EN 2023

Le GDR a directement organisé ou co-organisé **34 événements** majoritairement en présentiel dans 10 villes différentes (Rennes, Troyes, Aussois, Paris, Clermont-Ferrand, Grenoble, Puteaux, Tours, Villeurbanne, Lyon, Toulouse) et il a également participé au financement de **2 événements internationaux** ayant lieu en France (CPAIOR 2023 à Nice et SESO 2023 à Champs-sur-Marne).

Parmi nos activités, on peut souligner la participation au congrès ROADEF à Rennes (et de ses **635 participants** !). Les axes, actions transverses et groupes de travail du GDR y ont organisé 34 streams d'au moins une session chacun. **L'assemblée générale** du GDR a été l'occasion de présenter les projets de l'année 2023. Le GDR a proposé **4 tutoriels** à destination de tous et en particuliers des jeunes chercheurs : *Questionnements éthiques en recherche opérationnelle* avec Odile Bellenguez (LSN de Nantes), *Reinforcement Learning and Markovian*

Bandits avec Bruno Gaujal (LIG), *Tools for graph partitioning and clustering* avec Alantha Newman (G-SCOP), *Polyhedra hidden behind min-max theorems* avec Roland Grappe (LIPN). Nous avons invité **4 retours d'expérience industrielle** : Saint-Gobain, N-Side, Sanofi Digital, Pasam Mobilty.

Comme chaque année, a eu lieu une journée industrielle, à Lyon cette année, permettant des rencontres entre académiques et industriels sur la *programmation mathématique : solveurs, applications et retours d'expérience*.

Tous les axes, groupes de travail ou actions transverses ont effectué au moins une réunion en 2023 : des séminaires, des discussions sous la forme de tables rondes, sessions ouvertes...

Tout est accessible sur notre site <http://gdrro.lip6.fr/>.

3 - ÉCOLES DOCTORALES ET ACTIONS JEUNES

Quatre écoles doctorales ont été organisées en 2023 dont l'école annuelle du GDR ROD dans le centre du CNRS à Aussois en collaboration avec le GDR RADIA sur la *Responsabilité sociale des algorithmes* avec le groupe ROET. Et trois écoles organisées par des groupes : *Emerging optimization methods : from metaheuristics to quantum approaches* par le nouveau groupe RO quantique; *apprentissage pour l'optimisation combinatoire et l'optimisation combinatoire dans l'apprentissage* par le groupe POC; et *Automatic Algorithm Design* par le groupe ATOM.

Plusieurs groupes mettent en avant les exposés de doctorants lors de leurs journées, comme lors des journées JPOC du groupe POC, ou lors des journées communes OPA et REST. A cette occasion, une présentation sur les débouchés après thèse (concours CNRS, MCF...) a été effectuée par Yannick Kergosien.

Et comme chaque année, le GDR a organisé le **forum virtuel** (sous gathertown) de rencontres entre étudiants de Master ou de Doctorat et des académiques ou industriels en vue de la recherche de stage, de thèse, de post-doctorat; les aides à la mobilité pour le financement de déplacement de doctorants ou post-doctorants: deux jeunes chercheurs ont été financés (1500€ chacun) pour des mobilités au Chili et en Ecosse (Ruiwen Liao - Doctorante au LISN et Gael Guillot - Post-doctorant au CRISTAL); et le prix de la meilleure thèse en transport et logistique 2023 organisé par le groupe GT2L avec 3 lauréats : le premier prix ex aequo pour Dorian Dumez et Faical Touzout, et le deuxième prix à Pengfei He.

4 - ACTIONS ET PROSPECTIVES SCIENTIFIQUES

Il est à noter que le GDR ROD a répondu à différentes sollicitations du CNRS Sciences Informatique ou du CNRS directement: journée des correspondantes et correspondants Europe (grâce à Marc Sevaux); journées du GDR CIS (Science, Internet et Société) (grâce à Odile Bellenguez et Alexis Tsoukias); journée des correspondants Communication (avec Ayse Nur Arslan); journées des directrices et directeurs d'unités; des tables rondes "Ecoresponsabilité du numérique" et "quantique" aux journées des GDR de l'INS2I; des ateliers organisés par l'INS2I autour de l'intégration des jeunes chercheurs et chercheuses, Valorisation (grâce à Aziz Moukrim), Animation et perspectives sur des sujets transverses. Le GDR intervient à différents moments sur les discussions aussi diverses que l'AAP générique de l'ANR 2023, l'identification d'équipes dans le domaine des sciences informatiques éco-responsables, le montage de projets collaboratifs dans les filières Eau ou santé avec la Direction des Relations avec les Entreprises du CNRS. Notons également qu'au travers du groupe ROSA, le GDR participe au PEPR Santé numérique.

Le conseil scientifique du GDR RO du 26 juin a été consacré à la prospective scientifique, avec 25 participants qui ont fait un bilan par actions, axes et par groupes de travail. Un document de prospective issu de cette journée est en cours de rédaction et sera publié en 2024. Nous comptons sur toutes les bonnes volontés pour que ce document soit utile à tous pour réfléchir aux futurs scientifiques de notre domaine.

5 - QUELQUES FAITS MARQUANTS EN 2023

Plusieurs journées organisées par le GDR ont eu en 2023 un point de vue sociétal. C'est le cas de l'école sur la responsabilité sociale des algorithmes avec également des interventions dans le domaine des sciences humaines et sociales, dont le Droit. Ce thème reflète une préoccupation majeure de la société et la RO peut apporter des éléments de réponse et en retour se nourrir des réflexions pluridisciplinaires sur le sujet. La Journée Transition des systèmes alimentaires qui devait avoir lieu en 2023 avec le groupe ROES (et qui aura lieu début 2024), ou la conférence "Meaningful, Useful and Legitimate Information in Decision Making" par le groupe ROET avec des exposés mêlant d'autres disciplines dont la Politique Publique, l'Epistémologie et la Philosophie.

Le **prix Jean-Jacques Moreau 2023** est décerné à **Jérôme Malick** (LJK, Lab. Jean Kunzmann, Grenoble) pour ses résultats fondamentaux en optimisation non-lisse, optimisation robuste, et leurs applications industrielles. Les travaux de Jérôme avaient été distingués par le premier prix Robert Faure de la Roadef en 2009, soulignant le potentiel de cette recherche et la force de l'interaction théorie/applications. Jérôme est un membre actif du GDR ROD et il co-anime l'axe DAAO.

Le CNRS Sciences Informatiques propose **Ivana Ljubic** (ESSEC Business School) pour la **médaille d'argent CNRS 2023**. Son domaine aborde l'optimisation combinatoire en prenant en compte l'incertitude des données et l'optimisation bi-niveau, sous l'angle de la résolution de problèmes par les outils de la programmation mathématique entière, linéaire et non-linéaire. Elle est impliquée dans l'axe OCPE et le groupe POC.

ANNONCE

Le GDR a lancé depuis octobre 2022 une action de **recensement via l'outil mygdr** (déjà utilisé pour d'autres GDR). La campagne de recensement est toujours en cours et 428 personnes, dont 318 permanents, sont inscrites au 21 novembre 2023. Merci à tous de vous recenser !

<https://mygdr.hosted.lip6.fr/accueilGDR/6/10>

Congrès de la ROADEF

Un bilan du 24^{ème} congrès de la ROADEF du 20 au 23 février 2023 à Rennes School of Business

..... Pour le comité d'organisation Nadjib Brahimi

Un congrès sur 3 journées entières

Les derniers congrès de la ROADEF ont été programmés sur 2 journées et demie. Nous avons choisi de le faire sur 3 journées de mardi à jeudi avec un cocktail de bienvenue à la veille de la cérémonie d'ouverture. Une autre spécificité de cette édition est le fait de programmer le dîner de gala à la fin du congrès jeudi soir.



Des chiffres très encourageants

Cette édition de la ROADEF a réuni plus de **635 participants** ; un nouveau record de participation avec une augmentation de 10 % par rapport à l'édition précédente.

Les participants ont représenté **plus de 200 établissements et entreprises de 8 pays** (France, Belgique, Algérie, Italie, Luxembourg, Maroc, Allemagne, Canada). Ceci montre l'attractivité de ce congrès pour la communauté de recherche opérationnelle et d'aide à la décision. C'est aussi le résultat de beaucoup d'effort du comité d'organisation mais aussi du bureau de la ROADEF. Nous les remercions à cette occasion pour leur confiance et leur soutien.



Plus de temps, plus de thématiques

Le 24^{ème} congrès de la ROADEF a permis de découvrir de nouvelles techniques de RO/AD et s'est démarqué particulièrement par trois thématiques : collaboration entre industriels et académiques dans les projets de recherche opérationnelle, évolution des publications scientifiques, et enjeux sociétaux et environnementaux de la recherche opérationnelle. Voici quelques éléments de synthèse des présentations qui ont jalonné les trois jours du congrès. La première conférence plénière a été présentée par Stéphane Dauzère-Pérès de Mines Saint Etienne sur les problèmes et projets de recherche émanant de la collaboration entre chercheurs académiques et industriels. L'après-midi a eu lieu la deuxième plénière présentée par Alain Guillot de l'Université Clermont Auvergne. Il y a abordé la planification sous contraintes de synchronisation et le difficile choix entre des systèmes centralisés vs. des systèmes collaboratifs. La troisième conférence plénière a été donnée par Marie Farge de l'Ecole Normale Supérieure de Paris sur l'évolution de la publication et de la diffusion des articles de recherche. Enfin, Caroline Prodhon de l'Université de Technologie de Troyes a présenté quelques recettes secrètes pour avoir des métaheuristiques réussies.

Grâce à l'implication des responsables d'axes du GdR ROD, le congrès a pu accueillir quatre tutoriels et quatre retours d'expérience industriels. Les liens, les vidéos et les photos sont accessibles sur le site du congrès : <https://roadef2023.sciencesconf.org>, ainsi que sur la chaîne Youtube de la ROADEF.

Les 370 présentations du congrès ont été groupées en 100 sessions parallèles comprenant en particulier les 4 sessions spéciales pour les prix des meilleurs mémoire master et article étudiant. Nous saluons sincèrement tous les relecteurs et le comité scientifique, en particulier le GdR ROD, pour leur forte mobilisation.

Un grand merci à nos sponsors

Nous remercions nos sponsors pour leur soutien : Artelys, Dassault Systems, FICO, Local Solver, Huawei, Savoye, Eurodecision, Total Energies, SNCF, DecisionBrain, RENAULT Group, RTE, ENGIE, Rennes Métropole, et l'IMT Atlantique. Nous remercions en particulier Rennes School of Business et le département recherche pour leur soutien financier et humain. Merci également aux départements Events et la comptabilité qui ont contribué considérablement à ce succès.

Une belle cérémonie de clôture suivie d'un dîner au château !

La cérémonie de clôture était l'occasion pour remettre les prix et remercier les participants, les comités scientifiques et d'organisation, ainsi que les sponsors.

Un questionnaire de satisfaction... satisfaisant !

Nous avons envoyé un questionnaire de satisfaction à tous les participants de la ROADEF 2023. Nous avons reçu 117 réponses. La première partie du questionnaire concerne la phase de préparation du congrès et concerne le processus de proposition des thématiques, les thématiques proposées, le site web, ainsi que les processus d'inscription, de paiement et de soumission. Nous avons remarqué une très grande satisfaction en ce qui concerne ces sujets avec au maximum 5% de réponses « Pas satisfait » ou « Peu satisfait ». La deuxième partie concerne les aspects organisationnels pendant le congrès tels que la taille des salles, les repas et le dîner de gala. Les participants étaient très satisfaits du confort et l'équipement des salles, la gestion des sessions, les gourmandises et les goodies ainsi que le dîner de gala. Pour les pauses déjeuner et la taille des salles, en moyenne 40% des sondés n'étaient pas satisfaits. Nous avons accueilli bien plus de participants que prévu (tant mieux !). Ce qui a rendu l'espace réservé aux repas trop étroit. Ces chiffres aideront les futurs organisateurs de la 25^{ème} édition de la ROADEF à offrir aux participants de ce beau congrès une meilleure expérience. Nous souhaitons une belle réussite à nos collègues d'Amiens et au comité d'organisation présidé par Corinne Lucet.



Le congrès ROADEF 2024 à Amiens : Soyez nombreux du 4 au 7 mars !

Pour le comité d'organisation, Corinne Lucet

La 25^{ème} édition du congrès annuel de la Société Française de Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision ROADEF 2024 se déroulera du 4 au 7 mars 2024, à Amiens. Nous vous accueillerons avec plaisir au Pôle Cathédrale de l'Université de Picardie Jules Verne, au centre de la ville. Comme chaque année, le congrès de la ROADEF réunira les chercheurs et les industriels autour de la résolution de problèmes issus de l'Optimisation Combinatoire, de la Recherche Opérationnelle et du Génie Industriel. De nombreuses thématiques y sont abordées comme vous pouvez le constater en consultant les différentes sessions proposées (<https://roadef2024.sciencesconf.org/>). Une interrogation sur nos pratiques, l'environnement et l'éthique de la recherche y trouve également sa place.

Le congrès de la ROADEF est également une excellente opportunité pour nos jeunes chercheurs de se rencontrer et de présenter leurs travaux.

LE PROGRAMME SCIENTIFIQUE COMPREND :

- Sessions plénières
- des tutoriels en sessions semi-plénières
- plusieurs sessions parallèles
- des sessions retours d'expérience industrielle
- le prix du Meilleur Article Étudiant
- l'assemblée générale de la ROADEF
- et la réunion annuelle du GDR ROD



Au plaisir de vous accueillir à Amiens !
Bloquez dès maintenant les dates, et venez nombreux !

Compte rendu de la première Journée Francilienne de Recherche Opérationnelle organisée en partenariat avec AIRO (Associazione Italiana di Ricerca Operativa)

..... Pour le comité d'organisation,
Zacharie ALES, Nawal BENABBOU, Diego DELLE DONNE,
Emiliano LANCINI, Alessandro MADDALONI,
Sonia TOUBALINE, Emiliano TRAVERSI, Dimitri WATEL



<https://www.roadef.org/jfro/index.php>

Cette édition des journées Franciliennes de Recherche Opérationnelle s'est déroulée le Mercredi 30 novembre 2022. La journée était intégralement en ligne, diffusée par visioconférence.

Elle a été organisée conjointement avec Valentina Cacchiani (Université de Bologne). Huit orateurs y ont pris part devant un public de 43 participants.

La première oratrice a été Sandra Ulrich Ngueveu (Toulouse INP-LAAS-CNRS) qui, après avoir présenté la ROADEF, a réalisé un exposé traitant de la résolution de MINLPs séparables dans lesquels une somme de fonctions univariées non-convexes est minimisée sur un polyèdre. Elle a détaillé un algorithme pour ce type de problèmes permettant d'atteindre une précision arbitraire.

L'association AIRO a ensuite été présentée par Paola Festa (Université de Naples Frédéric II).

Gabriel Peyré (CNRS, ENS) a réalisé un exposé autour du problème de transport optimal. Ce problème qui permet de comparer des distributions de probabilités est très étudié pour ses applications en apprentissage automatique. Les difficultés de la résolution de ce problème ainsi que des approches de l'état de l'art pour les résoudre ont été introduites.

Le dernier exposé de la matinée a été effectué par Valentina Cacchiani (Université de Bologne) autour d'un problème de planification dans un réseau ferroviaire. Des programmes linéaires en nombres entiers basés sur une représentation du problème par un graphe temporel, ainsi que des approches de résolutions heuristiques par décomposition ont été présentées.

L'après-midi a débuté par une seconde présentation d'un problème de planification ferroviaire par Andrea D'Ariano (Université de Rome III). Les modélisations présentées s'appuient sur l'utilisation d'un graphe alternatif permettant la prise en compte de règles et d'objectifs d'exploitation. L'efficacité des modèles a été illustrée par des résultats numériques sur un cas d'étude concret.

Ruslan Sadykov (INRIA, Université de Bordeaux) a décrit un problème de localisation dans lequel les dépôts à ouvrir, leur capacité ainsi que les routes à utiliser pour desservir des clients doivent être déterminées. Le problème est résolu par un branch-and-cut-and-price basé sur une formulation comportant un nombre exponentiel de variables associées aux routes ainsi que sur la génération d'inégalités valides provenant de familles préalablement identifiées. Cet algorithme permet pour la première fois la résolution exacte d'instances de la littérature.

La journée s'est terminée par une présentation de Marco di Summa (Université de Padoue) sur le thème de la complexité théorique des algorithmes de branch-and-bound, de branch-and-cut et de plans coupants. Il a exposé des conditions sous lesquelles une de ces méthodes domine les autres en termes de nombre d'itérations et de taille des problèmes intermédiaires.

Les transparents et enregistrements vidéos des exposés de cette journée sont en ligne sur le site des JFRO et la chaîne Youtube de la ROADEF.

ActuROAD ROADEF Résultats des élections du bureau 2024-2026

La liste de 9 personnes présentées a été élue à la suite des votes des adhérents. 128 votants se sont exprimés lors des élections pour le renouvellement du bureau. Les résultats du vote électronique sont : 128 voix pour la liste de Nabil Absi (92.75 %) et 10 bulletins blanc (7.25 %).

Félicitations au nouveau bureau !

Le nouveau bureau élu qui prendra ses fonctions pendant la prochaine édition de notre conférence annuelle en mars prochain, est composé de : • **Nabil Absi** (Mines Saint-Etienne/LIMOS, Gardanne) en tant que président, **Amélie Lambert** (CNAM/Cédric, Paris) continuera d'assumer le rôle de trésorière, **Frédéric Meunier** (ENPC/CERMICS, Marne-la-Vallée) en tant que secrétaire, **So-haib Afifi** (Université d'Artois, Béthune) en tant que vice-président en charge de l'administration du site web, **Nawal Benabbou** (Sorbonne Université/LIP6, Paris) en tant que vice-présidente en charge du bulletin, **Maxime Ogier** (Centrale Lille/CRISTAL, Lille) en tant que chargé des Prix, **Nancy Perrot** (Orange, Paris) en tant que chargée des relations industrielles et la promotion de la RO/AD, **Olivier Péton** (IMT Atlantique/LS2N, Nantes) continuera d'assumer le rôle de vice-président en charge des relations extérieures et du congrès annuel ROADEF, **Cécile Rottner** (EDF/OSIRIS, Palaiseau) en tant que chargée de mission communication.

DERNIERS ET PROCHAINS ÉVÉNEMENTS SOUTENUS ET SPONSORISÉS PAR LA ROADEF

**JPOC13 : Phd school
à Clermont-Ferrand**
(du 26 au 28 juin 2023)

**JPOC13 : Conférence
à Clermont-Ferrand**
(du 28 au 30 juin 2023)

Journées OPA/REST à Tours
(du 30 au 31 octobre 2023)

**Journée Julia
et Optimisation à Paris**
(du 04 au 06 octobre 2023)

**6^e Journée Dataquitaire
à Bordeaux** (le 2 mars 2023)

7^e Journée Dataquitaire à Bordeaux
(le 21 mars 2024)

**ACP Winter school 2024
à Aussois (EA'2022)**
(du 25 au 29 mars 2024)

▶▶▶▶ N'hésitez pas à solliciter le soutien de la ROADEF

Prix du Master 2022

Chaque année, la ROADEF organise le prix du mémoire de master en recherche opérationnelle et aide à la décision.



..... Pour le bureau de la ROADEF, Olivier Péton

Ce prix a pour but de mettre en valeur la recherche des étudiants de master consacrée aux questions de Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision. Il permet également de faire connaître les formations dans nos disciplines et de favoriser les liens entre ROADEF, les masters de RO/AD et l'industrie.

Le prix concerne les stages réalisés en laboratoire ou en entreprise. Pour participer, les candidats doivent avoir été inscrits dans un établissement français habilité à délivrer un diplôme de Master 2 ou équivalent (notamment diplôme d'ingénieur), ou avoir effectué un stage dans un lieu (laboratoire ou entreprise) situé en France.

Les candidatures feront l'objet d'une expertise scientifique par le jury mixte industriels / académiques. Les cinq critères d'évaluation sont les suivants : originalité de la problématique, méthodologie et structuration du travail, argumentation scientifique et travail de terrain, lisibilité des travaux par des non-spécialistes, intérêt des résultats et retombées pratiques des apports.

À l'issue d'une première phase de sélection, 6 candidats ont été retenus comme finalistes. Ces 6 finalistes ont été invités à présenter leurs travaux dans deux sessions dédiées au prix lors de la conférence ROADEF 203 à Rennes.

Pour l'édition 2022, le jury était constitué de 8 personnes :

- Ayse Akbalik, Université de Lorraine
- Mehdi Charles, DecisionBrain
- Hichem Haddou Benderbal, Aix Marseille Université
- Juliette Medina, CRC Services
- Nancy Perrot, Orange
- Olivier Péton, IMT atlantique
- Dominique Quadri, Université Paris-Saclay
- Quentin Viaud, Saint-Gobain

- #1**
Léonie GALLOIS,
Optimisation convexe pour l'allocation des commandes d'une baie multi-moteurs d'un lanceur réutilisable (Master RO Toulouse, INSA, ONERA)
- #2**
Natalia JORQUERA,
Design and dimensioning of natural gas pipelines with hydrogen injection (Master MPRO, ENSTA)
- #3**
Jules NICOLAS-THOUVENIN
Combining Incremental Precision Boosting and Iterative Refinement for Exact Linear Programming (Master ORO Nantes, ZIB Berlin)
- #4**
Thomas PIOTAI,
Rectangle Packing applied to industrial placement problem (MSIAM - Data Science, Uni-versité Grenoble Alpes, Alma)
- #5**
Victor SPITZER,
Optimisation de la production d'hydrogène vert sous incertitudes (Master MPRO, École Polytechnique, Lhyfe)
- #6**
Thibault VIGNON,
Génération de colonnes en décomposition croisée (École Polytechnique, LIP6 LIPN EDF).

Le prix a été décerné à **Victor Spitzer.** Félicitations à lui.



L'édition 2023 est actuellement en cours. Le jury est composé de **Simon Béliers**, Toulouse Business School, **Alexandre Marié**, Artelys, **Margaux Nattaf**, Grenoble INP, **Olivier Péton**, IMT Atlantique, **Marie-Claude Portmann**, membre d'honneur de la ROADEF, **Anna Robert**, Total Energies, **Manuel Ruiz**, RTE, **Juliette Pouzet**, SNCF.

- #1** | **Seta RAKOTOMANDIMBY,** Perturbation-Duality Scheme in Combinatorial Optimization and Algorithms in Gen-eralized Convexity
- #2** | **Abdellah BULAICH MEHAMDI,** Filtering Pricing Subproblems In Column Generation

Une session spéciale sera organisée lors de la conférence ROADEF 2024 à Amiens. Nous vous invitons à venir nombreux y assister. Le nom du vainqueur sera dévoilé lors de la conférence.

citROnnADe Énigme



..... Par Denis Cornaz

La fausse pépite de Picsou

Picsou a 100 pépites d'or dont exactement une fausse, il souhaite payer un expert pour identifier la fausse pépite.

L'expert peut analyser un tas de pépites et certifier, si oui ou non, le tas contient une fausse pépite ; chaque analyse coûte 600\$ si le tas contient une fausse pépite, et 400\$ sinon.

Que doit faire Picsou pour payer le moins possible dans le pire cas ?

Solution Énigme (Bulletin OnTheROAD n°44)



..... D'après Denis Cornaz

Représentons la plaine des singes dans le plan complexe, disons que $S_c=0\$$ est le cocotier, $S_b=1\$$ est le bananier, $S_p\$$ est la potence, et $S_z\$$ l'endroit du trésor. Ainsi, on plante le sabre en $S_s=ip\$$ (rotation d'angle $\pi/2\$$ du point $S_p\$$), et on pose le mousquet en $S_m=-i(p-1)+1\$$ (rotation d'angle $-\pi/2\$$ du point $S_p-1\$$ et translation de 1 à droite). D'où $S_z=(ip - i(p-1)+1)/2=(i+1)/2\$$. Il faut donc partir du cocotier, marcher vers le bananier en comptant ses pas, revenir en arrière d'une distance égale à la moitié de ce nombre de pas, et tourner à droite sur la même distance.

Devenir (ou rester) membre de la **ROADEF**

**Vous ADORez la ROADEF
et souhaitez soutenir des actions ?
Rejoignez-nous !**

ADhérents un jour, ADhérent toujours ? Êtes-vous à jour ?

Bénéficiez d'un tarif préférentiel pour assister au congrès annuel, recevez la lettre d'information et bien sûr, « On the ROAD », prenez part aux décisions via votre vote (en AG ou à tout autre moment démocratique de la ROADEF), abonnez-vous à 4'OR à un tarif avantageux...

Suivez toute l'actu ROAD en France et au-delà : faites vivre la ROADEF !

- ▶ Adhésion « étudiant » : 15 €/an
- ▶ Adhésion « individuelle » : 30 €/an
- ▶ Adhésion « partenaire » : 800 €/an
(nombre illimité de membres et affichage logo)

Retrouvez toutes les infORMations sur votre prochaine (ré)ADhésion sur **roadef.org**.

ROADEF : LE BULLETIN

Bulletin de la société française de Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision
Association de loi 1901

Procédure technique de soumission : contacter Brice Mayag (vpresident1@roadef.org).

Comité de rédaction : N. Absi, R. Bocquillon, L. Brethomé, A. Lambert, B. Mayag, S. U. Ngueveu, O. Péton, A. Nguyen.

Production du Bulletin : B. Mayag. Mise en page : maogani

Ce numéro a été tiré à 400 exemplaires. Les bulletins sont disponibles sur le site de la ROADEF.





Toute l'actualité de la ROADEF et de ses partenaires se trouve sur Facebook, Twitter, LinkedIn et YouTube



ROADEF

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE RECHERCHE OPÉRATIONNELLE ET D'AIDE À LA DÉCISION